

Universidade do Porto
Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação

**IMPACTO DA LITERACIA E DA INFORMAÇÃO SENSORIOMOTORA NA
DISCRIMINAÇÃO DA ORIENTAÇÃO
EVIDÊNCIA EM CRIANÇAS LETRADAS E PRÉ-LETRADAS**

Bárbara Rafaela Ferreira Coelho

Outubro 2014

Dissertação apresentada no Mestrado Integrado de Psicologia, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto, orientada pela Professora Doutora *Maria de São Luís de Vasconcelos Fonseca e Castro Schöner* (FPCEUP) e co-orientada pela Professora Doutora *Tânia Patrícia Gregório Fernandes* (FPUL).

Universidade do Porto
Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação

**IMPACTO DA LITERACIA E DA INFORMAÇÃO SENSORIOMOTORA NA
DISCRIMINAÇÃO DA ORIENTAÇÃO
EVIDÊNCIA EM CRIANÇAS LETRADAS E PRÉ-LETRADAS**

Bárbara Rafaela Ferreira Coelho

Outubro 2014

Dissertação apresentada no Mestrado Integrado de Psicologia, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto, orientada pela Professora Doutora *Maria de São Luís de Vasconcelos Fonseca e Castro Schöner* (FPCEUP) e co-orientada pela Professora Doutora *Tânia Patrícia Gregório Fernandes* (FPUL).

Barbara Rafaela Ferreira Coelho
Presidente: Doutora Maria Emília Costa
Arguente: Doutora Ana Vale (UTAD)
Orientadora: Doutora Tânia Fernandes
(Investigadora Auxiliar (IF 2013) FP - Universidade de Lisboa)
Classificação: 19 valores

AVISOS LEGAIS

O conteúdo desta dissertação reflete as perspectivas, o trabalho e as interpretações do autor no momento da sua entrega. Esta dissertação pode conter incorreções, tanto conceptuais como metodológicas, que podem ter sido identificadas em momento posterior ao da sua entrega. Por conseguinte, qualquer utilização dos seus conteúdos deve ser exercida com cautela.

Ao entregar esta dissertação, o autor declara que a mesma é resultante do seu próprio trabalho, contém contributos originais e são reconhecidas todas as fontes utilizadas, encontrando-se tais fontes devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção de referências. O autor declara, ainda, que não divulga na presente dissertação quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor ou de propriedade industrial.

Agradecimentos

A presente dissertação é o culminar de um longo caminho de aprendizagens para o qual contribuíram inúmeras pessoas, a quem gostaria de expressar publicamente o meu agradecimento.

Começo por agradecer à Professora Tânia Fernandes, pela orientação exigente e estimulante, que despoletou desde o primeiro momento o meu interesse pela investigação. O resultado deste trabalho é fruto da sua incomensurável paciência e disponibilidade para excelentes discussões, que alimentaram progressivamente o meu conhecimento.

À Professora São Luís Castro, pela partilha de sabedoria e confiança depositada em mim para agarrar este trabalho e dar-lhe forma. Este foi, sem dúvida, o melhor estímulo de aprendizagem que recebi durante os cinco anos de formação académica.

À Professora Emma Gregory por ter demonstrado, desde o primeiro momento, interesse e entusiasmo na concretização desta investigação. Agradeço a sua disponibilidade para facultar parte dos estímulos experimentais usados no presente estudo.

À Professora Arlette Verhaeghe por me ter oferecido o seu livro “*Que os iletrados nos ensinam sobre os testes de inteligência*”, uma das primeiras leituras que me permitiu refletir sobre a investigação nesta área científica.

Aos agrupamentos de escolas e instituições pelo acolhimento, disponibilidade e acesso aos participantes. A todas as crianças que decidiram participar no estudo, e a quem devo os resultados.

À Fanny e à Eugénia por terem partilhado comigo a árdua tarefa de recolha de dados e por terem contribuído significativamente para a concretização deste trabalho.

Ao *Centro de Psicologia da Universidade do Porto* pelo reconhecimento e financiamento desta investigação, tornando possível a sua concretização e divulgação em eventos científicos.

A todos os membros do *Laboratório de Fala do Centro de Psicologia da Universidade do Porto* por me terem proporcionado interessantes discussões científicas, que em muito contribuíram para o resultado final desta dissertação.

E por último, mas não menos importante, agradeço ainda a todos aqueles com quem quis diariamente celebrar as minhas pequenas conquistas e partilhar as minhas dificuldades e angústias. À família e amigos, um especial obrigada pelo apoio emocional, pela capacidade de me manterem calma nos momentos mais difíceis e por terem sempre acreditado em mim, mesmo quando eu já não acreditava. É a eles a quem dedico humilde e orgulhosamente este meu trabalho.

O contacto com todos vocês foi, indubitavelmente, uma grande oportunidade de aprendizagem e crescimento ao nível pessoal, emocional e profissional.

Resumo

A aprendizagem de um código com letras em espelho suprime a propriedade original do sistema visual de *invariância em espelho*, desenvolvendo-se, por conseguinte, a capacidade de discriminar reflexões laterais no *referencial externo* (doravante, de *tipo EVA*; e.g., b-d e p-q), que se generaliza a categorias visuais não-linguísticas. Porém, nem todos os contrastes de orientação, incluindo as reflexões no *referencial do objeto* (doravante, de *tipo OA*), são treinados durante a alfabetização. Além disso, também as propriedades dos objetos, como, a força da informação sensoriomotora, pode influenciar a discriminação da orientação (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013).

Neste estudo investigámos o impacto da literacia e da força da informação sensoriomotora dos objetos sobre a discriminação da orientação. Três grupos de crianças – *letradas* (leitoras no final do 1º ano de escolaridade), *pré-letradas velhas* (emparelhadas em idade com as letradas) e *pré-letradas novas* (emparelhados em nível pré-escolar com as pré-letradas velhas) realizaram uma tarefa de procura visual de objetos familiares apresentados entre um conjunto de distratores que diferiam apenas em orientação.

Para todos os grupos, os distratores mais difíceis foram as reflexões laterais de tipo OA (i.e., *tipo OPA*). Embora para os letrados as reflexões de tipo EVA (e.g., b-d) tenham sido tão fáceis de discriminar quanto as rotações planares (e.g., b-q), para os pré-escolares as reflexões EVA foram tão difíceis de discriminar quanto as OPA. Curiosamente, foi apenas para as crianças pré-escolares e para as imagens em espelho que a informação sensoriomotora facilitou a discriminação da orientação. Apesar da informação sensoriomotora facilitar a discriminação das reflexões, as competências de literacia, em detrimento da idade ou QI, foram o preditor mais robusto dos erros de tipo EVA, mas não dos erros de tipo OPA ou de rotações planares.

O impacto da literacia na discriminação da orientação é específico ao tipo de reflexões treinadas durante a alfabetização. Porém, antes da aquisição da literacia, a informação sensoriomotora desempenha um papel crucial na discriminação das reflexões. Esta investigação fornece contributos importantes para uma melhor compreensão da influência da leitura em sistemas cognitivos independentes e pode fornecer indicações práticas para a elaboração de programas de intervenção direcionados para a aprendizagem da leitura.

Palavras-chave: invariância em espelho; discriminação em espelho; literacia; informação sensoriomotora; representação da orientação.

Abstract

Learning a script with mirrored letters suppresses the original property of the visual system of mirror invariance, and triggers the ability to discriminate lateral reflections in external axes (henceforth, *EVA type*; e.g., b-d and p-q), which generalizes to nonlinguistic visual categories. However, not all orientation contrasts, including reflections across the *object axes* (henceforth, *OA type*), are trained during learning to read. Moreover, properties of the object itself such as the strength of sensory-motor information (i.e., *graspability*) are critical for the object representation and could influence orientation discrimination (Fernandes & Kolinsky, 2013).

In this study we investigated the impact of literacy acquisition and of graspability on orientation discrimination. Three groups of children - *first-graders* (literate children at the end of 1st-grade), *older preschoolers* (matched in age with 1stgraders), and *younger preschoolers* (matched in kindergarten-level with older preschoolers) performed a visual search task on pictures of familiar objects presented among distractors differing only by orientation.

For all groups, the hardest distractors were lateral reflections of OA type (i.e., *OPA-type*). Whereas for first-graders mirror images of EVA-type (e.g., b-d) were as easy to discriminate as plane rotations (e.g., b-q), for preschoolers EVA reflections were as hard as OPA reflections. Notably, it was only for preschoolers and only for mirror images that graspability facilitated orientation discrimination. Yet, literacy-related abilities, rather than age or QI, were the most reliable predictor of EVA-errors, but not of OPA-reflections or plane rotations.

The impact of literacy on orientation discrimination is thus specific to the particular type of mirror images trained during learning to read. Yet, before learning to read, graspability has also a crucial role in rudimentary mirror discrimination. This research provides important contributions for a better understanding of the impact of literacy on independent cognitive systems, and can also inform educational programs directed to reading development.

Keywords: mirror invariance; mirror discrimination; literacy; graspability; orientation representation.

Resumé

L'apprentissage d'un système d'écriture avec des lettres en miroir supprime la propriété originale du système visuel d'*invariance en miroir* et amène au développement de la capacité de faire la discrimination de réflexions latérales sur le référentiel externe (dorénavant, de *type EVA* ; e.g., b-d et p-q), qui se généralise à des catégories visuelles non-linguistiques. Cependant, ni tous les types d'orientations, notamment les réflexions sur le référentiel de l'objet (dorénavant, de *type OA*), sont entraînés durant l'alphabétisation. Pour autant, les propriétés des objets, comme la force de l'information sensorimotrice, peuvent également avoir une influence sur la discrimination visuelle de l'orientation (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013).

Dans cette étude nous recherchons l'impact de la littératie et de la force de l'information sensorimotrice des objets sur la discrimination visuelle de l'orientation. Trois groupes d'enfants – les *alphabétisés* (qui lisent à la fin de la première année de l'école primaire), les *pré-alphabétisés vieilles* (appariés en âge avec les alphabétisés) et les *pré-alphabétisés jeunes* (appariés au niveau préscolaire avec les pré-alphabétisés vieilles) ont réalisé une tâche de recherche visuelle d'objets familiers qui ont été présenté parmi un groupe de distracteurs qui se différenciaient au niveau de l'orientation.

Pour tous les groupes, les distracteurs les plus difficiles ont été les réflexions latérales de type OA (i.e., *type OPA*). Bien que pour les alphabétisés les réflexions de type EVA (e.g. b-d) ont été aussi faciles de discriminer que les rotations sur le plan (e.g. b-q), pour les pré-alphabétisés les réflexions EVA ont été aussi difficiles de discriminer que les OPA. Curieusement, ça n'a été seulement pour les enfants pré- alphabétisés et pour les images en miroir que l'information sensorimotrice a facilité la discrimination visuelle de l'orientation. Malgré que celle-ci ait facilité la discrimination visuelle des réflexions, les compétences de littératie, au lieu de l'âge ou du QI, ont été le prédicteur le plus robuste des erreurs de type EVA, mais non pas des erreurs de type OPA ou des rotations sur le plan.

L'impact de la littératie sur la discrimination visuelle de l'orientation est spécifique au type de réflexions entraînés durant l'alphabétisation, tout en considérant l'influence de l'information sensorimotrice. Cette recherche contribue à une meilleure compréhension de l'influence de la lecture sur le système cognitif et elle fournit des indications pratiques pour l'élaboration de programmes d'interventions dirigés vers l'apprentissage de la lecture.

Mots-clés: invariance en miroir; discrimination visuelle en miroir; littératie; information sensorimotrice; représentation de l'orientation.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. A aquisição da literacia e sua localização anatomofuncional	1
1.2. Relação bidirecional entre a aquisição da literacia e o processamento visual	3
1.3. O presente estudo: relevância científica da investigação.....	11
2. Método	14
2.1. Participantes	14
2.2. Material	17
2.3. Procedimento	19
3. Resultados	21
3.1. Influência da literacia e da informação sensoriomotora dos objetos na representação da orientação	21
3.2. Relação entre a literacia e a discriminação da orientação dos objetos	28
3.3. Relação entre a literacia, a informação sensoriomotora dos objetos e a discriminação da orientação	29
4. Discussão	32
5. Conclusão	40
6. Referências Bibliográficas	42

Índice de Tabelas

Tabela 1.	Perfil cognitivo (resultados médios) dos grupos Pré-letrado novo (PLN), Pré-letrado velho (PLV) e Letrado (L)	16
Tabela 2.	Distribuição da média de erros pelo distratores, em função do grupo experimental e da força de interação sensoriomotora dos objetos	27

Índice de Figuras

Figura 1.	A) Referenciais de um objeto. A vermelho, o referencial externo e os seus eixos. A preto, o referencial do objeto e eixos principal e secundário. A polaridade dos eixos está representada por (+) e (-). B) As quatro formas de reflexão em espelho.	4
Figura 2.	Material: A) de treino; B) experimental com forte relação sensoriomotora; C) experimental com fraca relação sensoriomotora.	18
Figura 3.	Oito contrastes de orientação usados na tarefa experimental. No estímulo-alvo estão representados os dois referenciais: a preto o referencial externo, a cinza o referencial do objeto.	18
Figura 4.	Sequência dos eventos num ensaio na A) condição simultânea e B) sequencial.	20
Figura 5.	Distribuição do número médio de erros por tipo de distrator em função da modalidade de apresentação. A barra de erro corresponde ao erro-padrão.	23
Figura 6.	Distribuição do número de erros pelos distratores OPA, EVA e rotações de 180°, em função do grupo experimental. A barra de erro corresponde ao SEM.	24
Figura 7.	Distribuição dos erros pelos tipos de distratores para os grupos letrado e pré-letrado velho, em função da força de interação sensoriomotora dos objetos. A barra de erro corresponde ao SEM.	26
Figura 8.	Diagramas de dispersão e retas de regressão para os erros de reflexão do tipo EVA e o preditor literacia: A) fluência de leitura para letrados e B) conhecimento de letras para pré-letrados velhos.	29

Índice de Abreviaturas

3-DM	Bateria de Diagnóstico Diferencial da Dislexia de Maastricht
ALEPE	Avaliação da Leitura em Português Europeu
EHA	Referencia horizontal externo ao objeto (do inglês, <i>External Horizontal Axis</i>)
EVA	Referencial vertical externo ao objeto (do inglês, <i>External Vertical Axis</i>)
IT	Córtex temporal inferior (do inglês <i>Inferior Temporal cortex</i>)
LOC	Complexo occipital lateral (do inglês, <i>Lateral Occipital Complex</i>)
IOPJ	Junção occipitoparietal lateral (do inglês, <i>lateral Occipitoparietal Junction</i>)
OPA	Referencial principal do objeto (do inglês, <i>Object Principal Axis</i>)
OSA	Referencial secundário do objeto (do inglês, <i>Object Secondary Axis</i>)
QI	Quociente de Inteligência
TIL	Teste de Idade e de Leitura
VWFA	Área da forma visual da palavra (do inglês, <i>Visual Word Form Area</i>)
WISC-III	Escala de Inteligência de Wechsler para Crianças – 3ª Edição (do inglês, <i>Wechsler Intelligence Scale for Children - 3th Edition</i>)
WMS-III	Escala de Memória de Wechsler – 3ª Edição (do inglês, <i>Wechsler Memory Scale – 3th Edition</i>)

1. Introdução

“Once children learn to read, their brains are literally different”

Dehaene, 2013, p.14

1.1. A aquisição da literacia e sua localização anatomofuncional

A literacia é uma herança cultural relativamente recente no desenvolvimento filogenético humano, cuja etiologia data há cerca de 5400 anos (Dehaene, 2004). Apesar de recente, o recurso à linguagem escrita encontra-se profundamente enraizado na sociedade atual, pautando-se como um meio de comunicação imprescindível para a espécie humana.

A invenção cultural da escrita é demasiado recente na história evolutiva da espécie humana para a existência de bases neurais biologicamente programadas que suportem esta função (e.g., Dehaene & Cohen, 2007; Scliar-Cabral, 2010). Segundo a *hipótese da reciclagem neuronal* (Dehaene, 2004), as aquisições culturais, como a literacia e a aritmética, decorrem de mecanismos epigenéticos em que os circuitos neurais pré-existentes são modificados para a integração cortical destas aprendizagens, sem pressupor modificações ao nível do genoma. A aquisição da literacia apenas é possível devido à plasticidade e organização original do cérebro humano (Dehaene, 2004, 2013; Dehaene & Cohen, 2007): os objetos culturais novos invadem os circuitos neurais pré-existentes, que têm propriedades similares à função requerida e que são suficientemente plásticos para integração destas novas aprendizagens culturais. Por este motivo, a complexidade visual dos caracteres que integram o sistema de escrita (e.g., letras e padrões ortográficos) impulsiona a reorganização estrutural e funcional de parte do córtex visual cerebral, de modo a que, o seu reconhecimento seja suportado por uma rede neural especializada. Após a aquisição da literacia, a *área da forma visual da palavra* (VWFA, do inglês *Visual Word Form Area*), localizada na região occipitotemporal ventral esquerda (e.g., Cohen et al., 2000, 2002; Cohen & Dehaene, 2004), especializa-se nos processos perceptivos envolvidos no reconhecimento da palavra escrita, em detrimento do processamento de outras categorias visuais, e.g., faces, casas, algarismos arábicos e outros objetos não-linguísticos (e.g., McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003).

Durante a alfabetização, a região cortical que suportará o reconhecimento visual de padrões escritos compete com o espaço cortical biologicamente programado para o

reconhecimento visual de objetos, que se reorganiza e adapta parcialmente as suas funções, de modo a que o reconhecimento das formas visuais novas seja possível (Dehaene et al., 2010). Neste sentido, a aquisição da literacia é fortemente condicionada pela arquitetura cerebral original do sistema visual (Dehaene, 2013), razão pela qual os circuitos neurais especificamente desenvolvidos para o processamento dos símbolos ortográficos são universais e reproduzíveis independentemente do sistema de escrita culturalmente adotado (Bolger, Perfetti, & Schneider, 2005; Dehaene & Cohen, 2004, 2007). Além disso, a reorganização estrutural e funcional do córtex occipitotemporal também influencia o processamento visual, refinando as competências de reconhecimento visual de categorias visuais para além do domínio linguístico (e.g., Dehaene, 2013).

Com o desenvolvimento progressivo das competências de literacia, os letrados desenvolvem uma forma especial de perícia visual. O sistema visual torna-se capaz de extrair informação invariante acerca da estrutura das palavras (e.g., *reta* e *RETA* correspondem à mesma palavra, embora do ponto de vista visual o *par e – E* seja menos semelhante do que o *par e – o*, exigindo assim a aprendizagem de associações arbitrárias) e de identificar as unidades gráficas da escrita, independentemente de variações nas suas propriedades intrínsecas, como o tamanho (e.g., *reta* = **reta**; Dehaene, 2013; Hoffman & Logothetis, 2009). A VWFA, apesar de geralmente insensível aos fatores que influenciam os processos lexicais, demonstra uma sensibilidade sublexical para as regularidades ortográficas das palavras (Cohen et al., 2002; McCandliss et al., 2003).

A especialização da VWFA no reconhecimento visual de padrões ortográficos é um tema controverso na comunidade científica, dada a existência de evidências que sugerem o envolvimento desta região no processamento visual de objetos não-linguísticos (e.g., Price & Devlin, 2003; Vogel, Miezin, Petersen, & Schlaggar, 2011; Vogel, Petersen, & Schlaggar, 2014), em sobreposição com o *complexo occipitotemporal* (LOC; do inglês *Lateral Occipital Complex*; Grill-Spector, Kourtzi, & Kanwisher, 2001). Todavia, evidências neuroimagiológicas e neuropsicológicas da especialização anatomofuncional da VWFA para a literacia são suportadas por casos neuropsicológicos de *alexia pura*, i.e., défice específico no reconhecimento de estímulos ortográficos (em letrados) na ausência de afasia ou de outras perturbações cognitivas, após lesão da VWFA (Cohen et al., 2002; McCandliss et al., 2003).

De notar que a especialização e funcionamento da VWFA não pressupõem unicamente o envolvimento de estruturas do córtex visual no reconhecimento visual da palavra, sugerindo-se que a sua lateralização no hemisfério esquerdo é igualmente devida ao

estabelecimento de conexões privilegiadas com as áreas linguísticas, localizadas nas regiões temporais e frontais do hemisfério esquerdo, responsáveis pelos processos lexicais, semânticos e fonológicos envolvidos na compreensão e produção oral (Cohen et al., 2002, Dehaene, 2004; Vinckier et al., 2006). A aquisição da literacia pressupõe, portanto, um interface entre dois sistemas neurocognitivos inicialmente independentes: o sistema visual e o sistema linguístico (Dehaene & Cohen, 2011).

1.2. Relação bidirecional entre a aquisição da literacia e o processamento visual

A literacia é uma tarefa visual exigente que implica o conhecimento e distinção gráfica entre formas visuais complexas. No sistema de escrita alfabético, as distinções gráficas entre as letras podem apresentar variações do tipo *topológico*, i.e., inserção, modificação ou supressão de algum traço (e.g., E-F; m-n), ou de *orientação*, i.e., rotação no plano da imagem (doravante *rotação planar*, e.g., n-u) ou rotação fora do plano da imagem, como nas *imagens em espelho* (e.g., d-b; Gibson, Gibson, Pick, & Osser, 1962). Apesar das variações topológicas e de orientação das letras do alfabeto, o sistema visual é capaz de extrair informação invariante e de identificar corretamente as unidades gráficas da escrita (e.g., Dehaene, 2013). Porém, a exigência de discriminação de imagens em espelho, imposta pelos sistemas de escrita com este tipo de caracteres, como no alfabeto Latino (e.g., d – b; Gross & Bornstein, 1978), colide com a propriedade original do córtex occipitotemporal de *invariância em espelho*, i.e., o sistema visual processa uma imagem e a sua reflexão lateral como percepts equivalentes (e.g., Pegado, Nakamura, Cohen, & Dehaene, 2010).

O interesse da psicologia experimental pelo fenómeno de invariância em espelho surgiu no século XIX com o físico e filósofo Ernest Mach (1914) que descreveu que crianças numa fase inicial da aquisição da literacia confundem frequentemente as letras em espelho, trocando-as durante a escrita (e.g., escrever q como sendo p). Esta tendência atribui-se à organização original do sistema visual, que torna mais difícil o processamento das distinções gráficas entre letras que diferem em orientação do que aquelas que diferem em topologia (Gibson et al., 1962). Todavia, a distinção da orientação das letras é impreterível para uma leitura bem-sucedida, dado que variações de orientação de um mesmo símbolo gráfico associam-se a representações fonológicas distintas e, portanto, a percepts linguísticos independentes (e.g., Z-N, n-u, d-q; e.g., Dehaene, 2004).

Segundo McCloskey, Valtonen e Sherman (2006) a representação da orientação de um objeto bidimensional é determinada pela correspondência de parâmetros de *polaridade*, i.e., direção da orientação entre as extremidades dos eixos de cada referencial, que podem ser classificadas em polos positivos (+) e negativos (-), e de *inclinação*, i.e., direção e magnitude da diferença angular entre dois referenciais (vide Figura 1A). O *referencial do objeto* é invariante à orientação e define-se por dois eixos de referência centrados no objeto, i.e., um eixo principal e um eixo secundário ortogonal ao primeiro. O *referencial externo* ao objeto define-se também por dois eixos, determinados pela posição do observador em relação ao objeto, i.e., eixo vertical e eixo horizontal. Derivado da relação entre os dois referenciais, as variações de orientação de um objeto podem ser do tipo rotação planar (e.g., 45°, 90°, 180°) ou imagens em espelho. Assim, para os objetos cuja posição permite que os dois referenciais não coincidam, como no exemplo apresentado na Figura 1A, é possível identificar quatro tipos de imagens em espelho (vide Figura 1B): duas derivadas de reflexões no referencial do objeto, i.e., no *eixo principal* (i.e., *Object Principal Axis*, doravante tipo *OPA*) e no *eixo secundário* (*Object Secondary Axis*, doravante tipo *OSA*), e duas derivadas de reflexões no referencial externo, i.e., no *eixo vertical externo* (*External Vertical Axis*, doravante tipo *EVA*) e no *eixo horizontal externo* (*External Horizontal Axis*, doravante, tipo *EHA*; Gregory & McCloskey, 2010).

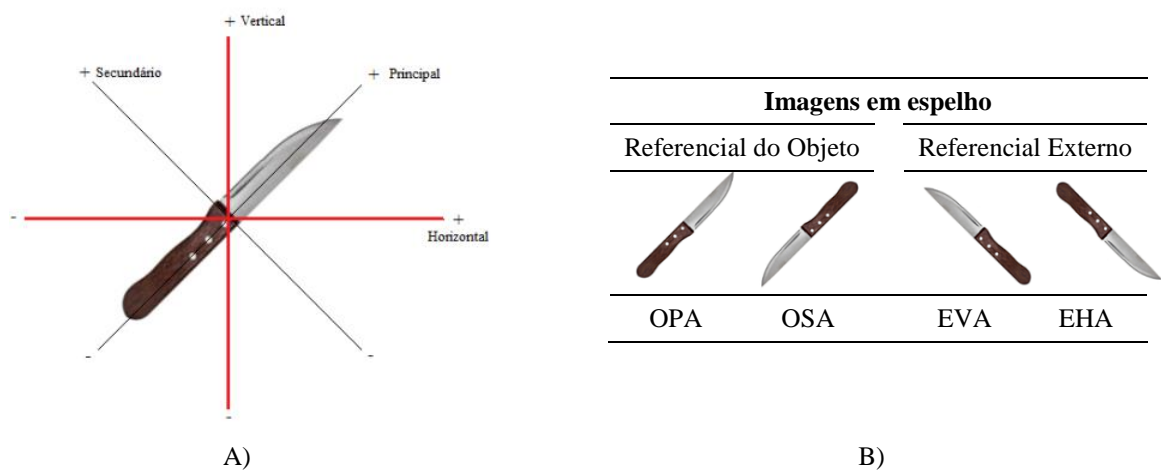


Figura 1. A) Referenciais de um objeto. A vermelho, o referencial externo e os seus eixos. A preto, o referencial do objeto e eixos principal e secundário. A polaridade dos eixos está representada por (+) e (-). B) As quatro formas de reflexão em espelho.

Como suprarreferido, embora os contrastes de orientação sejam importantes na distinção de letras do alfabeto Latino, nem todas as variações de orientação são treinadas durante a sua aprendizagem. Enquanto as rotações planares de 90° e 180° (e.g., Z-N e u-n,

respetivamente) e as reflexões de tipo EVA e EHA (e.g., d-b e b-p, respetivamente) são importantes para a distinção gráfica das letras, as reflexões no referencial do objeto, i.e., de tipo OPA e OSA, não o são.

Apesar das letras apresentarem variações de orientação nem todas são difíceis de discriminar durante a alfabetização. A organização original do sistema visual a aprendizagem de aspetos relacionados com a discriminação das imagens em espelho torna mais difícil do que a discriminação das rotações planares (Gibson et al., 1962). A origem evolutiva da dificuldade de discriminação de imagens em espelho é sustentada por dados eletrofisiológicos com primatas não-humanos (e.g., Logothetis, Pauls, & Poggio, 1995; Rollenhagen & Olson, 2000), que demonstram que o córtex *temporal inferior* (IT; do inglês *Inferior Temporal cortex*), i.e., a região homóloga do córtex occipitotemporal em humanos, dedicada ao reconhecimento visual, é sensível a rotações planares mas não às imagens em espelho. Todavia, nem todas as imagens em espelho são difíceis de discriminar. Os neurónios do IT processam como equivalentes as reflexões laterais (e.g., b-d) em maior grau do que as reflexões verticais (b-p). Gibson et al. (1962) também demonstraram que a dificuldade de discriminação de imagens em espelho, i.e., o *enantiomorfismo* (cf. Kolinsky et al., 2011) é predominante para as reflexões laterais.

A invariância de imagens em espelho, que está na origem da dificuldade de discriminação destes contrastes, parece ter uma origem filogenética, sendo observada em várias espécies animais como peixes, ratos e primatas (Gross & Bornstein, 1978; Logothetis et al., 1995; Rollenhagen & Olson, 2000). Também no ser humano, a invariância em espelho é observada, quer na infância (e.g., Bornstein, Gross, & Wolf, 1978), quer na idade adulta (e.g., Gregory & McCloskey, 2010). Dada a simetria da maioria dos objetos reais, a discriminação de imagens em espelho é habitualmente irrelevante para o reconhecimento visual dos objetos, tendo por isso um cariz adaptativo: um tigre é sempre um tigre, quer seja visto do lado esquerdo ou do lado direito (e.g., Gross & Bornstein, 1978).

Originalmente, a observação de resultados comportamentais sugestivos de invariância em espelho circunscreveu-se a estudos com crianças. Rudel e Teuber (1963) descreveram que crianças dos 3 aos 8 anos apresentavam dificuldades mais acentuadas na discriminação das reflexões laterais do que na discriminação das reflexões verticais. Também bebés de 3 e 4 meses, avaliados através de um paradigma de habituação, se demonstraram capazes de discriminar rotações planares de formas geométricas, mas não de imagens em espelho (Bornstein et al., 1978). Inicialmente, estas investigações sugeriram que embora a invariância em espelho seja uma propriedade original do sistema visual, a capacidade de

discriminar enantiomorfos desenvolver-se-ia aproximadamente aos 5/6 anos de idade (Casey, 1984; Rudel & Teuber, 1963). Todavia, estas investigações confundiam fatores maturacionais com fatores culturais, dado que é nestas idades que habitualmente a aprendizagem da leitura se inicia. Investigações ulteriores sugeriram que o enantiomorfismo se desenvolve através da exposição a experiências culturais que o exijam (Danzier & Pederson, 1998), sendo a aprendizagem de um sistema de escrita que integra letras em espelho considerado um dos principais fatores desencadeadores (e.g., Kolinsky et al., 2011).

No último século, vários estudos procuraram compreender se o treino de discriminação das letras em espelho, derivado da aquisição da literacia, é responsável por desencadear o enantiomorfismo (e.g., Bornstein et al., 1978; Cornell, 1985) e se essa capacidade, uma vez inscrita na região occipitotemporal (e.g., Dehaene et al., 2010; Pegado et al., 2011), é generalizada a categorias visuais não-linguísticas (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013). Kolinsky et al. (2011) analisaram as diferenças de desempenho na discriminação da orientação entre três grupos de adultos que diferiam em competências de literacia: um grupo de adultos *iletrados*, sem qualquer défice neurocognitivo que impeça a aprendizagem da leitura mas que não frequentaram a escola nem aprenderam a ler por razões estritamente socioeconómicas e culturais, e dois grupos de adultos instruídos num sistema de escrita alfabética, i.e., *letrados escolarizados*, que frequentaram o ensino regular durante a infância, e adultos *ex-iletrados*, não escolarizados que na idade adulta frequentaram cursos de alfabetização onde aprenderam a ler e a escrever. Os resultados demonstraram que os adultos iletrados tiveram dificuldades mais acentuadas na discriminação dos contrastes enantiomorfos, i.e., reflexões de tipo EVA, do que os adultos letrados e ex-iletrados. A dificuldade dos iletrados restringiu-se à discriminação das imagens em espelho (apenas reflexões de tipo EVA foram examinadas), dado que foram tão capazes de discriminar rotações planares (90° e 180°) quanto os letrados. Neste sentido, a dificuldade dos iletrados no enantiomorfismo não pode ser atribuída a dificuldades gerais no processamento da orientação dos objetos (Fernandes & Kolinsky, 2013) nem no processamento visual *per se* (Kolinsky et al., 2011; Kolinsky & Verhaeghe, 2011). O facto dos ex-iletrados serem tão competentes quanto os letrados no enantiomorfismo sugere que esta capacidade é consequência da aquisição da literacia e não da escolarização. Também um estudo multilingue verificou que os leitores fluentes da língua dravídica Tâmil, cujo sistema de escrita não integra letras em espelho, continuavam a apresentar dificuldades no enantiomorfismo, mesmo após a aquisição da literacia (Danzier & Pederson, 1998).

A manutenção do mecanismo de invariância em espelho em adultos iletrados (e.g., Kolinsky et al., 2011) e leitores fluentes do Tâmil (Danzier & Pederson, 1998) sugere que a aprendizagem de um sistema de escrita que integra letras em espelho suprime a propriedade original do córtex occipitotemporal de invariância em espelho, desenvolvendo-se, por conseguinte, a capacidade de discriminar imagens em espelho, fundamental para uma leitura bem-sucedida (e.g., Dehaene, 2009). Uma vez adquirido, o enantiomorfismo ocorre na região occipitotemporal para objetos linguísticos (e.g., palavras: Dehaene et al., 2010; letras: Pegado et al., 2011). Ao nível comportamental, esta capacidade generaliza-se a categorias visuais não-linguísticas, quer novas (e.g., figuras geométricas), quer familiares (e.g., desenhos de ferramentas; Fernandes & Kolinsky, 2013).

A maioria das investigações que avaliaram o impacto da aprendizagem da leitura e da escrita na discriminação da orientação (e.g., Casey, 1984; Cornell, 1985; Rudel & Teuber, 1963) apresentaram a mesma limitação, que diz respeito aos contrastes de orientação analisados e à garantia de que cada contraste se distingue dos outros. A maioria destes estudos selecionou estímulos experimentais simétricos em pelo menos um dos eixos do referencial, o que impossibilita a diferenciação entre as rotações planares e as imagens em espelho (e.g., \subset e \supset são imagens em espelho e rotações planares de 180°). Além disso, os estímulos foram habitualmente apresentados em posição *cardinal*, com os eixos do referencial do objeto sobrepondo-se aos eixos do referencial externo, impedindo a distinção entre reflexões nos eixos do objeto vs. nos eixos externos (Gregory & McCloskey, 2010).

A compreensão do fenómeno de confusão em espelho, bem como da sua relação com a aquisição da literacia, pressupõe a seleção de estímulos experimentais assimétricos no referencial do objeto e no referencial externo e a sua apresentação numa orientação oblíqua. Estas duas condições permitem destrinçar os contrastes de orientação possíveis, quer sejam rotações no plano ou fora do plano (Gregory & McCloskey, 2010). Numa tarefa de procura visual do estímulo-alvo entre um conjunto de distratores que diferiam apenas na orientação, os resultados com estudantes universitários (Gregory & McCloskey, 2010) e, posteriormente, com crianças de 4 e 6 anos de idade (Gregory, Landau, & McCloskey, 2011) indicaram que a discriminação das reflexões, particularmente das laterais, foi substancialmente mais difícil do que a discriminação das rotações planares. Porém, nem todas as imagens em espelho foram igualmente difíceis de discriminar. Para ambos os grupos, os erros de reflexão lateral, i.e., de tipo OPA e EVA, foram predominantes, comparativamente aos erros de reflexão vertical, i.e., de tipo OSA e EHA. Contudo, o padrão de distribuição dos resultados pelos tipos de distratores diferiu em função da idade. Para os

adultos e crianças de 6 anos os erros de reflexão de tipo OPA ocorreram em maior número de que os restantes tipos. Para crianças mais novas, de 4 anos, além das dificuldades na discriminação das reflexões de tipo OPA, também se observaram dificuldades acentuadas na discriminação das reflexões de tipo EVA (Gregory & McCloskey, 2010; Gregory et al., 2011). O padrão distinto entre crianças de 6 e de 4 anos de idade reflete um efeito desenvolvimental no enantiomorfismo que poderá ser atribuído a fatores maturacionais, a fatores decorrentes da aquisição da literacia (Gregory et al., 2011), ou a ambos.

Através de uma tarefa experimental com estímulos artificiais que equalizaram as propriedades distintivas nos dois eixos do referencial do objeto, Gregory e McCloskey (2010) verificaram que em adultos letrados escolarizados (i.e., estudantes universitários) a elevada prevalência de erros de tipo OPA, comparativamente aos erros de tipo OSA, se atribuía à frequente simetria lateral dos objetos e, portanto à existência de menos propriedades distintivas entre os quadrantes do lado direito e esquerdo por comparação aos quadrantes superiores e inferiores do referencial do objeto.

A análise conciliada das investigações desenvolvidas até à data demonstra que, embora a aquisição da literacia induza a reorganização anatomofuncional da arquitetura original do córtex occipitotemporal, a reciclagem neural é apenas parcial (Dehaene et al., 2010), pelo que a discriminação de imagens em espelho permanece uma tarefa mais exigente do que a discriminação das rotações planares, mesmo para crianças e adultos letrados (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013; Gregory & McCloskey, 2010; Gregory et al., 2011). As dificuldades específicas no enantiomorfismo, mas não na discriminação de rotações planares (e.g., Gregory et al., 2011; Kolinsky et al., 2011; Rollenhagen & Olson, 2000), bem como os casos clínicos de dissociação neuropsicológica (e.g., Davidoff & Warrington, 2001; Nuñez-Peña & Aznar-Casanova, 2008; Turnbull, Beschini, & Sala, 1997; Weiss et al., 2009) sugerem que estes contrastes são suportados por mecanismos neurais distintos.

A compreensão dos processos cognitivos subjacentes à representação da orientação dos objetos implica o conhecimento da organização anatomofuncional do sistema visual. Um dos princípios básicos desta organização é a sua divisão em dois circuitos, i.e., ventral e dorsal, que embora sejam anatómica e funcionalmente diferenciados, estabelecem conexões funcionais privilegiadas entre si (Milner & Goodale, 1995, 2008). A *via ventral* do sistema visual, também designada de *visão-para-perceção*, projeta-se do córtex estriado para o córtex temporal inferior (i.e. região occipitotemporal) e é responsável pelo processamento da informação relevante para a identificação e o reconhecimento dos objetos (Milner & Goodale, 2008). A *via dorsal*, também designada de *visão-para-ação*, projeta-se do córtex

estriado para o córtex parietal posterior (i.e. occipitoparietal) e é responsável por mediar as transformações visuomotoras requeridas no controlo das ações (Murata, Gallese, Luppino, Kaseda, & Sakata, 2000; Valyear, Culham, Sharif, Westwood, & Goodale, 2006) e pelos atributos espaciais envolvidos nas tarefas de julgamento da orientação (Harris, Dux, Benito, & Leek, 2008). As duas vias são suportadas por sistemas de representação diferentes: enquanto a via ventral recorre a representações *alocêntricas*, com uma perspectiva invariante, centrada no objeto e independente do observador, a via dorsal recorre a representações *egocêntricas*, dependentes e centradas no observador, que são apropriadas para a interação com o objeto no espaço (Marr, 1982; Milner & Goodale, 2008).

As duas vias visuais apresentam sensibilidade diferente para a discriminação de imagens em espelho. Casos clínicos de *agnosia em espelho* (i.e., défice específico na capacidade de discriminar imagens em espelho, mas preservação de capacidades de reconhecimento visual e de discriminação de rotações planares) sugerem a importância do córtex parietal (Davidoff & Warrington, 2001), particularmente do córtex parietal direito (Priftis, Rusconi, Umiltà, & Zorzi, 2003; Ramachandran, Altschuler, & Hillyer, 1997), na discriminação das imagens em espelho. Lesões parietais desencadeiam dificuldades específicas na discriminação das reflexões, embora se mantenha preservada a capacidade de discriminar as rotações planares (e.g., 45° e 180°; Davidoff & Warrington, 2001; Priftis et al., 2003). As representações egocêntricas, computadas na via dorsal, são fundamentais para a discriminação das imagens em espelho (Harris, Harris, & Caine, 2001; Turnbull et al., 1997) pelo que, no caso de lesão parietal, as representações invariantes em espelho, codificadas na via ventral, são insuficientes à discriminação das reflexões, mas suficientes para detetar variações de rotação relativas à orientação canónica do objeto (Davidoff & Warrington, 2001).

Apesar do envolvimento da via dorsal na discriminação das imagens em espelho, a literacia proporciona o desenvolvimento do enantiomorfismo como parte integrante da visão-para-perceção (Fernandes & Kolinsky, 2013). De facto, as dificuldades dos iletrados no enantiomorfismo ocorrem apenas em tarefas de visão-para-perceção (Danzier & Pederson, 1998; Kolinsky et al., 2011). Todavia, numa tarefa de manipulação virtual, que aciona representações visuomotoras em tempo real, e que, por isso, envolverá predominantemente representações computadas pela via dorsal, os iletrados são tão sensíveis quanto os letrados ao enantiomorfismo (Fernandes & Kolinsky, 2013). No entanto, mesmo numa tarefa de visão-para-perceção, também as propriedades intrínsecas aos objetos familiares podem influenciar o grau em que o processamento da informação visual depende

do envolvimento da via ventral ou da via dorsal (Rice, Valyear, Goodale, Milner, & Culham, 2007).

Numa tarefa de julgamento igual/diferente sobre a orientação dos objetos, Rice et al. (2007) demonstraram que a *junção occipitoparietal lateral* (IOPJ, do inglês *lateral occipitoparietal junction*) no hemisfério direito, parte da via dorsal (vide Culham et al., 2003; Valyear et al., 2006), é sensível às mudanças de orientação apenas para os objetos com uma *forte relação sensoriomotora* entre a orientação do objeto e a forma de apreensão/manipulação do mesmo (e.g. faca), mas não para os objetos com *fraca* relação sensoriomotora (e.g., caminhão). Após a experiência de interação prévia com um objeto, a informação motora é armazenada conjuntamente com outras propriedades visuais dos objetos (Chao & Martin, 2000). Isto permite que, mesmo numa tarefa de visão-para-percepção em que não é requerida qualquer ação direcionada, os objetos com forte relação sensoriomotora ativem regiões occipitoparietais (Creem-Regehr & Lee, 2005; Tucker & Ellis, 1998) que facilitam a discriminação das reflexões (Fernandes & Kolinsky, 2013).

O benefício da informação sensoriomotora na discriminação da orientação dos objetos é também saliente durante a aquisição da literacia (e.g., James, 2010). A experiência sensoriomotora com as letras, proporcionada pela escrita manual dos caracteres e que envolve, em parte, a região parietal inferior (James & Gauthier, 2006; Longcamp et al., 2008), facilita a discriminação de letras simétricas durante o período pré-escolar (James, 2010). Após a especialização anatomofuncional da literacia na região occipitotemporal ventral, as letras são codificadas como perceptos singulares, i.e., em que cada grafema corresponde a uma representação fonológica distinta (Dehaene et al., 2010; Vinckier et al., 2006). Assim, o enantiomorfismo é automatizado na VWFA e as representações computadas pela via dorsal deixam de ser requeridas (Pegado et al., 2010).

A evidência de que a interação sensoriomotora com os objetos pode facilitar a discriminação das imagens em espelho (Fernandes & Kolinsky, 2013), mesmo durante a aquisição da literacia para os perceptos linguísticos (James, 2010), permite questionar se o padrão de resultados descrito por Gregory et al. (2010) se atribui à aquisição da literacia ou aos estímulos experimentais selecionados. De facto, neste estudo, a maioria dos objetos tinham uma forte relação sensoriomotora, o que pode ter facilitado a discriminação das reflexões de tipo EVA (Fernandes & Kolinsky, 2013). Além disso, embora a aprendizagem de um sistema de escrita com letras em espelho seja o principal fator responsável pelo desenvolvimento do enantiomorfismo, nenhum estudo permitiu diferenciar completamente a influência da literacia dos fatores inerentes à maturação cognitiva.

1.3. O presente estudo: relevância científica da investigação

A compreensão dos processos cognitivos subjacentes ao desenvolvimento do enantiomorfismo tem sido escassa e coloca questões metodológicas que limitam a compreensão da sua relação com a aquisição da literacia. Investigações recentes compararam diretamente as competências de discriminação de adultos que diferiram apenas no nível de literacia (letrados, ex-iletrados e iletrados; e.g., Kolinsky et al., 2011; Fernandes & Kolinsky, 2013), ou de crianças pré-escolares e escolarizadas que diferiam em idade (Gregory et al., 2011), o que impediu destrinçar a influência da aquisição da literacia e dos fatores maturacionais no desenvolvimento desta capacidade. Além disso, a maior parte dos estudos experimentais utilizaram apenas reflexões de tipo EVA (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013), por estas imporem maior dificuldade de discriminação do que as reflexões de tipo EHA (e.g., Rollenhagen & Olsen, 2000). Todavia, as imagens em espelho podem também ser refletidas nos eixos do referencial do objeto, i.e., reflexões de tipo OPA e OSA. Por fim, a seleção de estímulos experimentais com uma forte relação sensoriomotora (vide Gregory et al., 2011), que facilitam o enantiomorfismo (Fernandes & Kolinsky, 2013), mesmo numa tarefa de visualização passiva (Valyear et al., 2006), impede destrinçar a influência da aquisição da literacia das propriedades visuomotoras dos objetos.

O presente estudo teve como principal objetivo contribuir para a compreensão dos fatores influentes no desenvolvimento do enantiomorfismo procurando, em particular, destrinçar a influência da aquisição da literacia do impacto das propriedades visuomotoras dos próprios objetos, ao mesmo tempo que se controlaram os fatores inerentes ao desenvolvimento maturacional. Assim, investigámos se a aquisição da literacia beneficiaria, de um modo geral, a capacidade de discriminação das imagens em espelho, ou se esse benefício se circunscreveria às reflexões cuja discriminação é treinada durante a aprendizagem do alfabeto Latino (i.e., reflexões EVA). Além disso, tendo em conta que (i) a via dorsal, mas não a via ventral, é sensível às diferenças entre imagens em espelho (Valyear et al., 2006); (ii) que a representação motora dos objetos e a discriminação em espelho de objetos não-linguísticos possuem mecanismos neurais comuns (Valyear et al., 2006) e (iii) que a literacia desencadeia o enantiomorfismo como parte da visão-para-percepção (Fernandes & Kolinsky, 2013), foram exploradas três questões na presente dissertação: (i) será que a ativação automática de informação sensoriomotora pelos objetos pode facilitar a discriminação das imagens em espelho mas não a discriminação de rotações no plano?; (ii) se houver um benefício, será que a aquisição da literacia anula o envolvimento

da informação sensoriomotora na discriminação das reflexões? (iii) controlando a influência da força de interação sensoriomotora dos objetos, será que a literacia *per se* beneficia, de um modo geral, a discriminação das imagens em espelho ou esse benefício é específico às reflexões EVA?

Para responder a estas questões adotámos um paradigma experimental similar ao de Gregory et al. (2011), i.e., uma tarefa de procura visual do estímulo-alvo entre um conjunto de distratores que diferiam apenas na orientação, utilizando quer um modo de apresentação *simultânea* quer *sequencial* do alvo e da cena visual (com os distratores e alvo-a-localizar). De modo a avaliar os efeitos da literacia e a possível influência maturacional na discriminação de contrastes de orientação, testámos três grupos de crianças que diferiam em idade e em nível de literacia. As crianças *letradas* tinham competências de leitura e estavam no final do 1º ano de escolaridade; as crianças *pré-letradas velhas* eram da mesma idade que as crianças letradas mas frequentavam o ensino pré-escolar e, por isso, não tinham ainda competências de leitura; as crianças *pré-letradas novas* frequentavam o mesmo nível pré-escolar das crianças *pré-letradas velhas*, mas eram mais jovens. Ao comparar as competências de discriminação da orientação das crianças letradas vs. *pré-letradas velhas* avaliámos a influência da aquisição da literacia na representação da orientação, garantindo que as diferenças entre os dois grupos não seriam devidas a diferenças de idade ou de desenvolvimento cognitivo. A comparação entre crianças *pré-letradas velhas* vs. *novas* permitiu-nos avaliar a influência da idade e maturação cognitiva na discriminação da orientação dos objetos. Com o intuito de analisar se o padrão de resultados de Gregory et al. (2011) se atribuiu à aprendizagem da leitura e/ou às propriedades visuomotoras dos objetos, foram selecionados objetos familiares manipuláveis de dois tipos, em função da força de interação sensoriomotora: forte (e.g., faca) vs. fraca (e.g., meia).

Sumariamente, adotámos um desenho experimental 3 (Grupo: *pré-letrado novo*; *pré-letrado velho*; *letrado*) $\times 2$ (modalidade de apresentação: *simultânea*; *sequencial*) $\times 2$ (tipo de objeto em função da relação sensoriomotora: forte; fraca) $\times 6$ (distrator: OPA; OSA; EVA; EHA; 180°; 90°).

Por um lado, de forma a clarificar os efeitos da aquisição da literacia e os efeitos maturacionais no padrão de erros durante a procura visual, comparámos diretamente, para cada grupo experimental, os três contrastes de orientação relevantes para o estudo: OPA, por serem as reflexões de mais difícil discriminação para crianças e adultos (McCloskey, 2010; Gregory et al., 2011); EVA, por serem os distratores em que as crianças de 4 anos, mas não os adultos, revelaram maior dificuldade de discriminação (Gregory et al., 2011), e rotação

planar de 180°, por diferirem do estímulo-alvo na mesma distância angular que as reflexões OPA e EVA e por serem as rotações planares mais fáceis de discriminar (Kolinsky & Fernandes, 2013). Por outro lado, comparámos diretamente a influência da informação visuomotora dos objetos na discriminação das reflexões mais árduas, i.e., OPA e EVA, por comparação com as rotações no plano de imagem do objeto, i.e., 180° e 90°, para os grupos emparelhados em idade, que diferenciam apenas nas competências de literacia, i.e., letrados e pré-letrados velhos. De forma a destrinçar a influência da aquisição da literacia do impacto das propriedades visuomotoras dos objetos no desenvolvimento do enantiomorfismo comparámos diretamente as diferenças no padrão de distribuição dos erros OPA, EVA e 180°, em função do tipo de objeto (i.e., com relação sensoriomotora forte vs. fraca), privilegiando-se, por um lado, as comparações entre os grupos letrado e pré-letrado velho e, por outro lado, entre os grupos pré-letrado velho e pré-letrado novo. Para finalizar, realizaram-se análises de regressão com o intuito de verificar qual o preditor mais importante na discriminação da orientação.

Assim, esperámos replicar o padrão de resultados de Gregory et al.. (2011) em crianças de quatro e de seis anos, mas aqui em crianças pré-letradas (novas e velhas) e crianças letradas, respetivamente. Em concreto, esperávamos que as crianças pré-letradas apresentassem mais dificuldades na discriminação das reflexões de tipo OPA e EVA, enquanto as crianças letradas apresentariam dificuldades apenas na discriminação das reflexões de tipo OPA, mesmo quando comparados com o grupo pré-escolar da mesma idade. Para todos os grupos, as rotações planares serão as mais fáceis de discriminar, especialmente as de 180° (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013). Neste sentido, espera-se uma interação significativa entre o grupo e o distrator.

Por outro lado, tendo em conta os resultados de Fernandes e Kolinsky (2013) com adultos iletrados, espera-se que os objetos com forte relação sensoriomotora, mas não os objetos com fraca relação sensoriomotora, facilitem a discriminação das imagens em espelho (mas não de rotações planares) e apenas para as crianças pré-letradas, mas não para as crianças letradas. Se a hipótese se confirmar, espera-se uma interação significativa entre o grupo, tipo de objeto, e distrator.

De forma a confirmar a influência da aquisição da literacia no desenvolvimento do enantiomorfismo, controlando a influência da ativação de informação sensoriomotora, espera-se que o padrão suprarreferido, de distribuição dos erros pelos diferentes tipos de distrator em função do grupo experimental, se replique mesmo para os objetos com uma fraca relação sensoriomotora.

2. Método

2.1. Participantes

Participaram voluntariamente neste estudo 59 crianças (33 do sexo masculino, 26 do sexo feminino) falantes nativas do português europeu, com idades entre os 72-81 meses ($M = 77$, $DP = 2.6$), de escolas do Porto, Marco de Canaveses e Vila Real, que não tinham dificuldades de aprendizagem nem perturbações de desenvolvimento (segundo indicação dos professores). As crianças e os seus tutores legais deram consentimento informado de acordo com a Declaração de Helsínquia (World Medical Association, 2013) e o código deontológico da Ordem dos Psicólogos Portugueses. Como forma de agradecimento, foram oferecidos às crianças certificados de participação na investigação.

Foram constituídos três grupos experimentais. O grupo pré-letrado novo, i.e., crianças sem competências de leitura e a frequentar o ensino pré-escolar, era constituído por 14 crianças com idade média de 73 meses ($DP = .86$; entre os 72 e os 75 meses; quatro do sexo feminino; 13 dextros¹; um ambidextro), uma vez que foi excluída uma criança (sexo feminino) devido a erro metodológico durante a recolha de dados. O grupo pré-letrado velho, i.e., crianças sem competências de leitura e no último nível do ensino pré-escolar, era constituído por 22 crianças com idade média de 78 meses ($DP = 1.46$; entre os 76 e os 80 meses; sete sexo feminino; 19 dextros; três esquerdinos), uma vez que foi excluída uma criança (sexo feminino) por erro metodológico. Estes dois grupos pré-letrados frequentavam o mesmo nível pré-escolar, mas diferiam em idade, $t(34) = -11.56$, $p \leq .001$ ². Nenhum tinha competências de leitura e escrita, mas conheciam letras do alfabeto (vide Tabela 1).

O grupo letrado, i.e., crianças no final do 1º ano de escolaridade com competências de leitura, era constituído por 21 crianças com idade média de 78 meses ($DP = 1.63$; entre os 74 e os 81 meses; 13 do sexo feminino; 20 dextros; um esquerdino). Este grupo não diferia em idade do grupo pré-letrado velho, $t(41) = -.82$, $p = .42$, mas era mais velho do que o grupo pré-letrado novo, $t(33) = -11.29$, $p \leq .001$. O grupo letrado era o único com competências de leitura e escrita adequadas à sua idade: o desempenho médio no Teste de Idade e de Leitura³ (TIL; Sucena & Castro, 2010) não diferiu do esperado para o grupo de referência,

¹ Versão portuguesa do Teste de Lateralidade de Edimburgo (Oldfield, 1971).

² Resultados sobreponíveis pelo teste U de Mann-Whitney.

³ O TIL é uma tarefa de compreensão de leitura silenciosa. Tem duração de 5 min e consiste no completamento de frases incompletas, por escolha forçada de uma entre cinco palavras possíveis.

i.e., da mesma idade e nível escolar ($M = 6.40$, $DP = 2.06$), $t(19) < 1^4$. O desempenho das crianças letradas no subteste de fluência de leitura da versão portuguesa da Bateria 3-DM⁵ (Reis, Faísca, Castro, & Petersson, 2013) na lista de palavras de elevada frequência ($M = 11.4$, $DP = 5.8$) foi análogo ao na lista de pseudopalavras ($M = 11.4$, $DP = 6.0$) e de palavras de baixa frequência ($M = 11.5$, $DP = 7.4$), $F_s(2, 40) < 1$. Como esperado, o desempenho nas três listas estava fortemente correlacionado entre si, $r_s(19) \geq .85$, $p_s \leq .001$.

De modo a caracterizar o perfil cognitivo dos três grupos foram realizadas seis tarefas cognitivas preliminares. Como medida de QI não-verbal foram usadas as Matrizes Progressivas Coloridas de Raven (versão portuguesa de Simões, 2000). O subteste de vocabulário (WISC-III; Wechsler, 1991, adaptação portuguesa de Simões, Rocha, & Ferreira, 2009) foi usado para avaliação do conhecimento lexical, tendo em conta que esta é uma prova fortemente associada ao QI verbal. Para avaliar a memória de trabalho foram usados o subteste de memória de dígitos (WISC-III; Wechsler, 1991, adaptação portuguesa de Simões, Rocha, & Ferreira, 2009) como medida de memória fonológica, e o subteste de cubos de Corsi (WMS-III; Wechsler, 1997) como medida de memória visuoespacial. As competências metafonológicas foram avaliadas com os subtestes de consciência metalinguística (que exigem conhecimento explícito das unidades linguísticas em teste) e de consciência epilinguística (implicam sensibilidade fonológica sem exigir conhecimento explícito sobre a identidade dessas unidades; ALEPE, Sucena & Castro, 2012). Em ambos os casos foi avaliada a consciência fonológica da sílaba, rima, e ataque. Apenas os letrados demonstraram representações conscientes do fonema, i.e., competências metalinguísticas, por estas se desenvolverem em simultâneo à aprendizagem da leitura e da escrita. Por sua vez, os pré-letrados apresentaram um sistema fonológico rudimentar, que recupera de forma automática e inconsciente os fonemas fundamentais para a descodificação da fala (Gombert, 1992). Estas competências, designadas de epilinguísticas, desenvolvem-se de forma espontânea num contexto sociocultural em que a linguagem oral é o principal mediador das transações comunicativas (Lieberman, 1991). Por último, foi avaliado o conhecimento de letras em quatro tarefas: Nomeação/reconhecimento \times Maiúsculas/minúsculas. Na tarefa de nomeação, foi pedido que a criança nomeasse todas as letras apresentadas. Na tarefa de reconhecimento, o experimentador nomeou as letras por ordem aleatória, uma de cada vez, pedindo à criança que apontasse a letra correspondente.

⁴ Por erro metodológico, uma criança não realizou corretamente a tarefa.

⁵ Este subteste consiste na leitura de três listas de estímulos: palavras de alta frequência, palavras de baixa frequência e pseudopalavras, no tempo de 30 s por lista.

Tabela 1.

Perfil cognitivo (resultados médios) dos grupos Pré-letrado novo (PLN), Pré-letrado velho (PLV) e Letrado (L)

Variável	Pré-letrado novo	Pré-letrado velho	Letrado	Comparações Post-Hoc ^a			
				<i>F</i> (2,54)	PLN vs. PLV	PLN vs. L	PLV vs. L
QI não-verbal	17.35 (4.27) [14.89 - 19.82]	19.22 (4.99) [17.01 - 21.44]	24.28 (4.11) [22.41 - 26.15]	11.63	.52	<.001	.001
Conhecimento de Letras	30.07 (22.40) [17.13 - 43.00]	37.04 (24.01) [26.39 - 47.69]	91.23 (2.44) [90.12 - 92.35]	62.41	.58	<.001	<.001
CFE							
Sílabas	11.50 (5.44) [8.35 - 14.64]	15.40 (4.01) [13.62 - 17.19]	17.66 (2.12) [16.69 - 18.63]	10.59	.02	<.001	.15
Rima	10.07 (4.58) [7.42 - 12.71]	12.59 (2.95) [11.28 - 13.90]	15.00 (2.79) [13.72 - 16.27]	9.11	.12	<.001	.06
Ataque	10.71 (3.91) [8.45 - 12.97]	11.27 (4.93) [9.08 - 13.46]	18.76 (1.81) [17.93 - 19.58]	27.46	.91	<.001	<.001
CFM							
Sílabas	0.85 (2.21) [-.42 - 2.13]	1.68 (3.29) [.20 - 3.15]	7.80 (3.32) [6.29 - 9.32]	29.06	.76	<.001	<.001
Rima	0.28 (1.06) [-.33 - .90]	0.22 (1.06) [-.24 - .69]	6.57 (2.24) [5.54 - 7.59]	102.31	.99	<.001	<.001
Ataque	0.21 (0.80) [-.24 - .67]	1.27 (3.04) [-.07 - 2.62]	10.85 (1.55) [10.14 - 11.56]	143.42	.40	<.001	<.001
Memória de Dígitos	5.85 (2.59) [4.35 - 7.35]	7.68 (2.00) [6.79 - 8.57]	10.42 (2.46) [9.30 - 11.54]	17.18	.10	<.001	.001
Vocabulário	6.14 (2.82) [4.51 - 7.77]	9.31 (5.87) [6.71 - 11.92]	22.66 (8.90) [18.61 - 26.72]	32.49	.42	<.001	<.001
Corsi Block	7.78 (2.32) [6.44 - 9.12]	8.27 (2.05) [7.36 - 9.18]	10.14 (2.43) [9.03 - 11.25]	5.67	.83	.02	.02

Notas. Desvio-padrão entre parêntesis. A negrito os resultados estatisticamente significativos. CFE = Consciência Fonológica Epilinguística; CFM = Consciência Fonológica Metalinguística; Resultados sobreponíveis pelo método não-paramétrico de Kuskal-Wallis. ^aTeste Post-Hoc Unequal N HSD, valores de *p*.

As letras foram apresentadas em conjuntos de seis, dispostas em coluna no centro de uma folha A4, usando folhas separadas para as 26 letras do alfabeto Português⁶ em versão maiúscula e minúscula. De acordo com o esperado, o desempenho nas quatro tarefas estava fortemente associado entre si: grupo letrado, $rs \geq .69$, pré-letrado velho, $rs \geq .80$, e pré-letrado novo, $rs \geq .69$, todos $ps < .05$.

Os grupos pré-letrados, embora diferissem significativamente em idade, apresentaram um perfil de funcionamento cognitivo análogo nas diversas dimensões avaliadas (vide Tabela 1), ainda que com um desempenho inferior ao dos letrados. A superioridade dos letrados na maioria das tarefas cognitivas avaliadas, mesmo quando comparados ao grupo pré-escolar da mesma idade, realça os benefícios da aquisição da aprendizagem da leitura e da escrita no desenvolvimento cognitivo (Ardila et al., 2010; Verhaeghe & Kolinsky, 2006). Esta aquisição parece reforçar competências cognitivas, como a memória de trabalho, vocabulário e inteligência (Castro-Caldas, Petersson, Reis, Stone-Elander, & Ingvar, 1998).

2.2. Material

Os estímulos experimentais correspondiam a objetos reais sem uma orientação canónica, i.e., objetos frequentemente visualizados em diversas orientações (e.g., caneta) e cujo reconhecimento é independente da orientação (Leek, 1998). Todos os objetos selecionados eram assimétricos, quer no referencial do objeto quer no referencial externo, de forma a distinguir as imagens em espelho das rotações planares, e estavam dispostos numa orientação oblíqua, com o objetivo de diferenciar as rotações no referencial do objeto das rotações no referencial externo ao do objeto. Dos 18 objetos selecionados, dois foram apenas utilizados nos ensaios de treino de modo a familiarizar os participantes com a tarefa experimental (i.e., banana e caneta). Os 16 objetos experimentais (vide Figura 2) correspondiam a duas categorias distintas, de acordo com a força da relação entre a orientação do objeto e a forma de manipulação/preensão do mesmo: oito objetos com forte relação sensoriomotora (i.e., pente, escova de dentes, martelo, lanterna, faca, tesoura, machado, e escova de cabelo) e oito objetos com fraca relação sensoriomotora (i.e., apito, meia, luva, cabide, trompa, chave, guarda-chuva e alfinete). Os objetos com forte relação sensoriomotora correspondiam aos utilizados por Gregory e McCloskey (2010). Os objetos

⁶ Não foram testadas as letras *k*, *w*, *y*.

com fraca relação sensoriomotora foram selecionados a partir de bases de imagens disponíveis gratuitamente na *internet*, tendo sido garantido que eram semelhantes aos anteriores em termos visuais globais (i.e., luminosidade, cor, posição). Com base num pré-teste realizado com estudantes universitários foi garantido que as duas categorias de estímulos não diferiam em familiaridade, complexidade e ambiguidade visual, mas diferiam em função da força da interação sensoriomotora (cf. Fernandes & Kolinsky, 2013). Garantiu-se que os objetos eram igualmente familiares às crianças testadas (vide Procedimento).

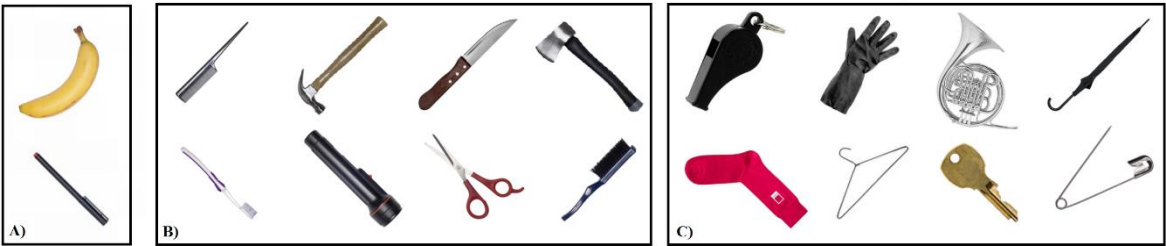


Figura 2. Material: A) de treino; B) experimental com forte relação sensoriomotora; C) experimental com fraca relação sensoriomotora.

Foram criadas com o *irfanview* (www.irfanview.com) oito versões de cada objeto que diferiam apenas em orientação (vide Figura 3): uma versão original, três contrastes de rotação no plano, i.e., -90° , $+90^\circ$, 180° , e quatro imagens em espelho, duas no referencial do objeto, i.e., tipo OPA e OSA, e duas no referencial externo ao objeto, i.e., tipo EVA e EHA. No total foram construídos 128 estímulos ($16 \text{ objetos} \times 8 \text{ orientações}$). Em cada categoria, e em particular, para os objetos com forte relação sensoriomotora, garantiu-se que a parte do objeto habitualmente utilizada na apreensão (e.g., cabo) ocorria em igual proporção nos quatro quadrantes da cena visual.

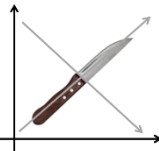







Referenciais	Imagens em espelho		Rotações no plano de imagem do objeto				
	Referencial do Objeto	Referencial Externo					
							
Estímulo-alvo	OPA	OSA	EVA	EHA	$+90^\circ$	-90°	180°

Figura 3. Oito contrastes de orientação usados na tarefa experimental. No estímulo-alvo estão representados os dois referenciais: a preto o referencial externo, a cinza o referencial do objeto.

Foram criadas duas listas, cada uma com 64 itens, sendo que em cada lista o mesmo objeto aparecia quatro vezes (em quatro das oito orientações suprarreferidas). Na preparação das duas listas garantiu-se a ocorrência do mesmo número de objetos em cada contraste de

orientação inter-lista. Com recurso ao *irfanview* e ao *Windows Paint*, cada item foi editado numa nova imagem, em que o objeto surgia circundado por uma linha vermelha sobre um fundo branco. Estas imagens foram usadas como *estímulo-alvo* nos ensaios experimentais.

Para cada estímulo-alvo foi construída uma segunda imagem contendo oito versões do objeto-alvo (i.e., o objeto-alvo e os sete contrastes de orientação), dispostas circularmente e equidistantes do centro do ecrã e entre si. Garantiu-se que em cada uma das listas, cada objeto-alvo e os sete contrastes de orientação ocorriam em igual proporção nas oito posições circulares possíveis na segunda imagem. Esta segunda imagem foi usada como *estímulo de resposta* na tarefa experimental, tendo sido criadas duas versões, uma usada na condição sequencial e outra na condição simultânea. Na condição sequencial, o estímulo de resposta era constituído pelo estímulo-alvo e os sete contrastes de orientação dispostos em círculo. Na condição simultânea, além das oito versões dispostas circularmente, no centro da imagem estava a imagem do estímulo-alvo rodeada por um círculo vermelho.

2.3. Procedimento

A tarefa experimental foi realizada através de um computador portátil, numa sala silenciosa da escola das crianças. Em cada sessão experimental a sequência de eventos em cada ensaio e a recolha de dados foi controlada pelo E-prime 2.0 (<http://www.pstnet.com/eprime>). A única diferença entre sessões experimentais dizia respeito à condição de apresentação. Estas duas condições foram apresentadas a todas as crianças em duas sessões (uma para cada condição), sendo que na primeira sessão foi apresentada a condição simultânea e, na segunda sessão, a condição sequencial.

Primeiro, numa fase de familiarização, as crianças eram expostas a cada um dos 18 objetos (dois de prática e os 16 objetos usados nos ensaios experimentais), apresentados um a um no centro do ecrã, a uma velocidade definida pela criança. Foi pedido à criança que nomeasse o objeto, identificasse a sua função e qual o grau de familiaridade com o mesmo. Foi ainda pedida uma descrição de cada objeto, dando particular ênfase às suas cores, de modo a garantir uma observação integral de todos os atributos dos objetos.

Seguidamente era realizada a tarefa experimental. Em cada ensaio foi apresentado um ponto de fixação - uma cruz - no centro do ecrã durante 1s, ao qual se seguiu a apresentação do estímulo-alvo durante 1s e, no caso da condição sequencial, seguia-se um ecrã branco durante 1s, ao qual sucedia o estímulo de resposta, durante um máximo de 7.5s, ou

imediatamente a seguir à resposta da criança, como representado na Figura 4. Na condição simultânea, o estímulo de resposta continha além dos oito contrastes (i.e., o estímulo-alvo, os sete contrastes de orientação EVA, EHA, EVA, EHA; OPA, OSA e as rotações planares $-90^\circ + 90^\circ, +180^\circ$), o estímulo-alvo no centro do ecrã, rodeado por um círculo vermelho. Em ambas as condições foi pedido às crianças que em cada ensaio observassem atentamente o estímulo-alvo, de modo a indicar qual dos oito estímulos dispostos circularmente correspondia ao alvo apresentado. A criança apontava para o estímulo que correspondia à sua resposta, que era registada pelo examinador com recurso ao teclado numérico.

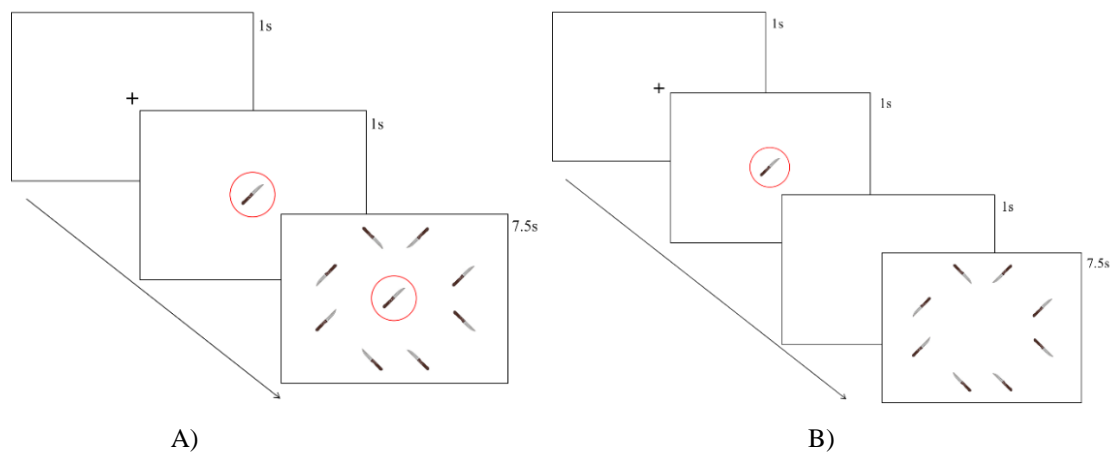


Figura 4. Sequência dos eventos num ensaio na A) condição simultânea e B) sequencial.

Antes dos ensaios experimentais, em cada uma das condições, os participantes realizavam oito ensaios de treino, com o objetivo de se familiarizarem com a tarefa. Os ensaios de prática eram em tudo idênticos aos ensaios experimentais, exceto que nos ensaios de prática, nos quais o participante recebia *feedback* sobre a sua resposta.

As crianças realizaram duas listas, uma na condição sequencial (64 ensaios) e a outra na condição simultânea (64 ensaios), garantindo-se que todos os participantes eram expostos aos 128 itens sem haver repetição da orientação do estímulo-alvo entre listas para o mesmo participante. Em cada grupo de participantes, cerca de metade dos participantes realizaram uma lista na condição sequencial e a outra na condição simultânea e vice-versa. Cada objeto-alvo e cada contraste de orientação ocorria em igual proporção em cada uma das oito posições possíveis no estímulo de resposta. Deste modo foi garantido que o predomínio de respostas (ou erros) para um contraste de orientação particular não poderia dever-se a viés na ocorrência de determinado contraste numa dada localização de entre as oito possíveis.

3. Resultados

3.1. Influência da literacia e da informação sensoriomotora dos objetos na representação da orientação

Os resultados experimentais foram analisados tendo em conta o número de erros na tarefa de procura visual. Para os erros de rotação planar de 90°, computou-se a média dos erros para os contrastes de +90° e -90°. Realizou-se uma análise de variância (ANOVA) mista com o fator inter-participantes grupo (pré-letrado novo; pré-letrado velho; letrado) e os fatores intra-participantes modalidade de apresentação (simultânea; sequencial), tipo de objeto em função da relação sensoriomotora (forte; fraca) e distrator (OPA, OSA, EVA, EHA, 180°, 90°). As ANOVAs que, pelo teste de Mauchly, não cumpriram o pressuposto de esfericidade foram ajustadas pelo ϵ de Greenhouse-Geisser.

Nesta análise, todos os efeitos principais foram significativos. Os grupos diferiram no número médio de erros, $F(2, 54) = 27.01$, $p < .001$, $\eta^2 = .50$, uma vez que as crianças letradas tiveram em média um melhor desempenho ($M = 10.54$, $DP = 5.71$) que os dois grupos pré-escolares (Post-Hoc Unequal N HSD, $ps \leq .001$). O grupo pré-letrado velho ($M = 18.70$, $DP = 6.95$) não diferiu em número médio de erros do grupo pré-letrado novo ($M = 23.39$, $DP = 11.12$, $p = .18$). Desta forma, o melhor desempenho das crianças do primeiro ano associa-se provavelmente à aquisição da literacia. As diferenças entre os grupos foram independentes da exigência mnésica envolvida na tarefa [Grupo x Modalidade, $F(2, 54) = 2.05$, $p = .13$, $\eta^2 = .07$] e do tipo de objeto [Grupo x Tipo de objeto, $F(2, 54) < 1$].

Globalmente, as crianças apresentaram mais erros na modalidade de apresentação sequencial ($M = 31.43$, $DP = 9.90$) do que na modalidade simultânea ($M = 16.85$, $DP = 9.24$), $F(1, 54) = 185.52$, $p < .001$, $\eta^2 = .77$, provavelmente devido à exigência mnésica envolvida na modalidade sequencial.

Além disso, como esperado, as crianças fizeram menos erros quando o estímulo-alvo era um objeto com forte relação sensoriomotora ($M = 23.53$, $DP = 8.89$) do que quando era um objeto com fraca relação ($M = 24.75$, $DP = 8.99$), $F(1, 54) = 3.80$, $p = .05$, $\eta^2 = .06$, refletindo o benefício da ativação da informação sensoriomotora na representação da orientação dos objetos (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013). A interação entre modalidade e o tipo de objeto não foi significativa, $F(1, 54) < 1$, pelo que a distribuição dos erros em função do tipo de objeto foi independente da exigência mnésica envolvida na tarefa.

Os erros na tarefa de procura visual distribuíram-se de forma heterogênea pelos sete distratores, $F(5, 270) = 109.25$, $p < .001$, $\eta^2 = .66$. Este padrão foi independente da exigência mnésica requerida pela tarefa, uma vez que a interação Tipo de distrator \times Modalidade de apresentação não foi significativa, $F(5, 270) < 1$. De um modo geral, as crianças escolheram mais frequentemente como alvo os distratores que eram imagens em espelho ($M = 36.61$, $DP = 12.45$) do que aqueles que eram rotações planares do objeto ($M = 11.67$, $DP = 6.28$), $F(1, 54) = 92.26$, $p < .001$. Dos erros de reflexão, os mais frequentes foram os de reflexão lateral, i.e., de tipo OPA ($M = 18.47$, $DP = 6.48$) e de tipo EVA ($M = 7.91$, $DP = 5.45$), em comparação com as reflexões verticais (tipo OSA, $M = 6.07$, $DP = 4.04$; tipo EHA, $M = 4.15$, $DP = 2.87$), $F_s(1, 54) > 13.41$, $ps < .001$. Dos erros de rotação planares, as rotações de 90° ($M = 7.04$, $DP = 3.55$) foram mais prevalentes que as de 180° ($M = 4.63$, $DP = 3.53$), $F(1, 54) = 27.83$, $p < .001$. Globalmente, os erros de reflexão de tipo OPA, seguidos de EVA, foram os mais frequentes, comparativamente aos restantes tipos de distratores, $ps < .03$.

O efeito principal do distrator foi, por um lado, modelado pelo tipo de objeto, $F(5, 270) = 2.76$, $p = .01$, $\eta^2 = .04$, e, por outro lado, pela modalidade de apresentação, $F(5, 270) = 10.95$, $p < .001$, $\eta^2 = .16$.

Quanto à interação do distrator com o tipo de objeto, de um modo geral, verificou-se que os distratores em espelho foram mais fáceis de discriminar para os objetos com forte relação sensoriomotora ($M = 17.54$, $DP = 6.74$) do que para os objetos com fraca relação sensoriomotora ($M = 19.05$, $DP = 6.62$), $F(1, 54) = 4.75$, $p = .03$. Pelo contrário, a discriminação dos distratores que eram rotações planares não foi influenciada pelo tipo de objeto, $F(1, 54) < 1$. Em conformidade com evidências neuropsicológicas (e.g., Davidoff & Warrington, 2001; Priftis et al., 2003), neuroimagiológicas (e.g., Rice et al., 2007; Valyear et al., 2006) e comportamentais (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013) este resultado é possivelmente devido à existência de mecanismos neurais comuns entre as representações motoras dos objetos e a discriminação das imagens em espelho.

Quanto à interação Distrator \times Modalidade, a Figura 5 ilustra que, os únicos erros que não foram influenciados pela modalidade de apresentação foram os de reflexão de tipo OPA, $F(1, 54) < 1$, que foram igualmente prevalentes para as duas modalidades de apresentação. Por isso, a prevalência destes erros é independente da requisição mnésica da tarefa. Para os outros tipos de distratores, a diferença entre as duas modalidades foi quantitativa, $ps < .001$ (maior número médio de erros na modalidade sequencial), uma vez que em ambas as modalidades se encontrou o mesmo padrão qualitativo de distribuição dos erros pelos

diferentes tipos de distratores: mais erros de reflexões OPA e EVA, e de rotação de 90°, e menor número de erros de reflexões OSA e EHA e de rotação de 180° (vide Figura 5).

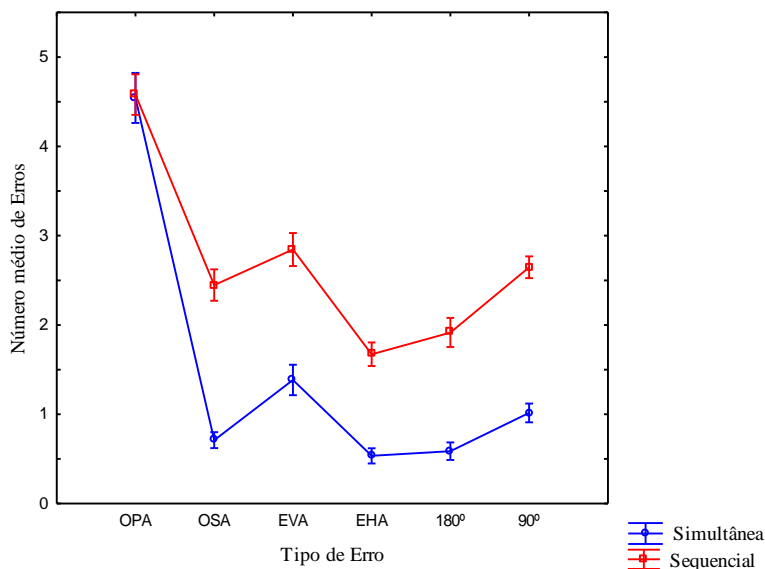


Figura 5. Distribuição do número médio de erros por tipo de distrator em função da modalidade de apresentação. A barra de erro corresponde ao erro-padrão.

O efeito do grupo também foi modelado pelo tipo de distrator, $F(10, 270) = 3.63$, $p < .001$, $\eta^2 = .11$. De forma a clarificar os efeitos da aquisição da literacia e os efeitos maturacionais no padrão de erros foram realizados contrastes planeados para cada grupo (correção de Bonferroni, consideraram-se significativos valores de $p < .005$), comparando-se diretamente o padrão de distribuição dos erros de tipo OPA - por serem as reflexões em espelho de mais difícil discriminação para crianças e adultos (McCloskey, 2010; Gregory et al, 2011), EVA - por serem os distratores em que as crianças, mas não os adultos, revelam mais dificuldade em discriminar (Gregory et al., 2011), e de rotação de 180° - por partilharem com os primeiros a mesma diferença angular em relação ao alvo e por serem as rotações planares mais fáceis de discriminar (Kolinsky & Fernandes, 2013).

Como ilustra a Figura 6, as crianças letradas, apresentaram mais erros de reflexão de tipo OPA ($M = 17.38$, $DP = 7.03$) do que de tipo EVA e 180°, $ps < .001$, e as reflexões EVA foram tão fáceis de discriminar quanto as rotações planares de 180°. Para o grupo pré-letrado velho, com a mesma idade que as crianças letradas mas sem competências de leitura, os erros de tipo OPA ($M = 20.54$, $DP = 6.55$) foram mais frequentes que as reflexões EVA, $F(1, 54) = 62.43$, $p < .001$, enquanto para as crianças pré-letradas novas, os erros de tipo EVA foram tão frequentes quanto os erros de tipo OPA. Para ambos os grupos pré-letrados os erros de

tipo EVA foram significativamente mais prevalentes do que os erros de rotação de 180°, $F_s(1, 54) > 14.20, p < .001$.

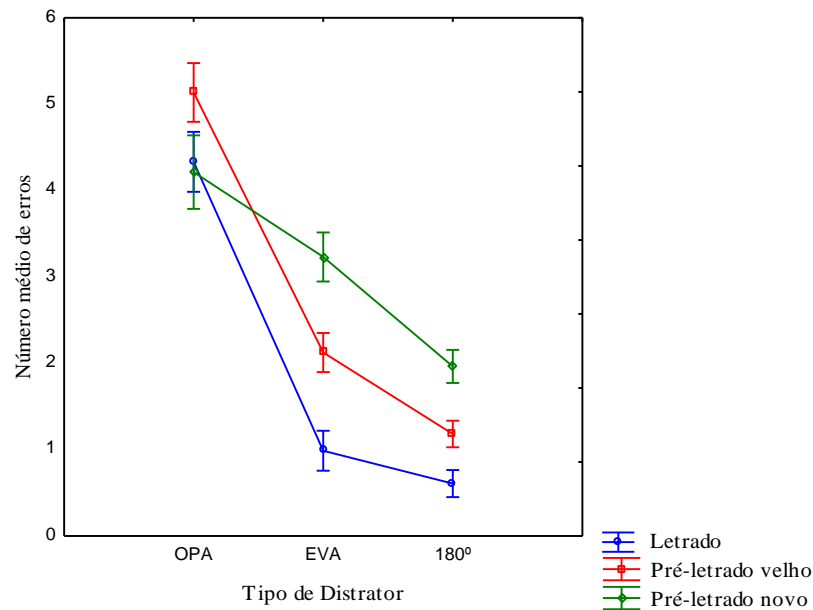


Figura 6. Distribuição do número de erros pelos distratores OPA, EVA e rotações de 180°, em função do grupo experimental. A barra de erro corresponde ao SEM.

Todos os grupos tiveram igual dificuldade em discriminar o estímulo-alvo da sua reflexão OPA. Pelo contrário, os grupos diferiram no padrão de erros para as reflexões EVA e para as rotações de 180°. No que diz respeito aos erros de tipo EVA, o grupo letrado apresentou em média menos erros de tipo EVA ($M = 3.95, DP = 3.05$) que os grupos pré-letrados com a mesma idade e que os mais novos, $F_s(1, 54) > 12.30, ps < .001$, como esperado de acordo com a hipótese de reciclagem neuronal (Dehaene, 2004; Dehane & Cohen, 2007, 2011). Os pré-letrados velhos também fizeram menos erros de reflexão de tipo EVA ($M = 8.50, DP = 4.51$) que os pré-letrados novos ($M = 12.92, DP = 5.26$), $p = .003$. Para os erros de rotação de 180°, os pré-letrados novos apresentaram mais erros ($M = 7.85, DP = 3.93$) do que os letrados ($M = 2.38, DP = 2.01$), $p < .001$, e do que os pré-letrados velhos ($M = 4.72, DP = 2.79$), $p = .002$. Os dois grupos emparelhados em idade não apresentaram diferenças significativas entre si.

A interação Grupo \times Distrator \times Modalidade de apresentação também foi significativa, $F(10, 270) = 2.71, p = .003, \eta^2 = .09$ (as restantes interações não foram significativas, todos $F_s < 1$). Os erros de reflexão de tipo OPA foram os mais frequentes (em comparação com a média dos restantes tipos de erro) para todos os grupos, quer na modalidade simultânea, quer na modalidade sequencial ($ps < .001$). Para este tipo de erro, os letrados apresentaram menos erros na condição simultânea ($M = 7.80, DP = 4.11$) do que na condição sequencial ($M =$

9.52, $DP = 3.80$), $F(1, 54) = 3.78$, $p = .05$, enquanto que os grupos pré-escolares não foram influenciados pela exigência mnésica da tarefa, $F_s(1, 54) < 2.95$, $ps > .09$. A elevada prevalência de erros de tipo EVA para os grupos pré-letrados (em comparação com a média dos restantes tipos de erro, à exceção de tipo OPA) foi igualmente significativa nas modalidades de apresentação simultânea e sequencial, independentemente da requisição mnésica da tarefa ($ps < .001$). Para todos os grupos, em ambas as modalidades, foi encontrado o mesmo padrão qualitativo de distribuição dos erros pelos restantes tipos de distratores, pelo que a diferença entre as duas modalidades foi apenas quantitativa ($ps < .01$).

A interação Grupo \times Tipo de objeto \times Distrator também foi significativa, $F(10, 270) = 3.61$, $p < .001$, $\eta^2 = .11$. Ao contrário das crianças pré-escolares que apresentaram menos erros para os objetos com forte relação sensoriomotora ($M = 27.86$, $DP = 7.21$) do que para os objetos com relação fraca ($M = 29.38$, $DP = 6.82$), $F(1, 54) = 4.64$, $p = .03$, o desempenho das crianças do primeiro ano não foi afetado pelo tipo de objeto, $F(1, 54) < 1$. Este padrão de resultados constitui um contributo inovador da presente tese e demonstra que a ativação automática de informação sensoriomotora pelos objetos auxilia a discriminação em espelho antes da aquisição da literacia.

A evidência de que a via dorsal, mas não a via ventral, é sensível às diferenças entre imagens em espelho, bem como da existência de mecanismos neurais comuns entre a representação motora dos objetos e a discriminação em espelho de objetos não-linguísticos (Rice et al., 2007; Valyear et al., 2006) levantou duas questões: (i) será que a ativação automática da informação sensoriomotora dos objetos pode facilitar a discriminação das imagens em espelho mas não a discriminação de rotações no plano?; (ii) e este benefício, será que se mantém mesmo após a especialização da VWFA para discriminação de letras em espelho? Para aprofundar estas questões, foram realizados contrastes planeados com vista a examinar a influência das propriedades sensoriomotoras dos objetos na discriminação das reflexões de tipo OPA e EVA, em comparação com as rotações planares de 90° e 180°, para os grupos emparelhados em idade, que apenas diferenciam nas competências de literacia, de modo a garantir que qualquer diferença entre os dois grupos apenas poderia ser atribuída à influência da literacia e não a fatores maturacionais.

Como ilustra a Figura 7, apenas as crianças pré-letradas foram influenciadas pelas propriedades visuomotoras dos objetos na sua capacidade de discriminar imagens em espelho. De facto, estas crianças fizeram menos erros de discriminação das reflexões para os objetos com forte relação sensoriomotora (tipo OPA, $M = 8.77$, $DP = 4.52$; tipo EVA, $M = 3.54$, $DP = 2.13$) do que para os objetos com fraca relação (tipo OPA, $M = 11.77$, $DP = 3.58$;

tipo EVA, $M = 4.95$, $DP = 3.16$), $F_s(1, 54) > 6.02$, $p_s < .017$. Pelo contrário, e sugerindo que a aquisição da literacia reduz o envolvimento da informação sensoriomotora no enantiomorfismo de objetos não-linguísticos, a discriminação de imagens em espelho dos tipos EVA e OPA pelas crianças letradas não foi sensível às propriedades visuomotoras dos objetos, $F_s(1, 54) < 2.89$, $p_s > .09$. Como esperado, sabendo que a via ventral (envolvida no reconhecimento visual de objetos; Goodale & Milner, 1992) é originalmente sensível às diferenças entre rotações planares (Logothetis et al., 1995; Turnbull et al., 1997), o número de erros de rotações planares (de 180° e 90°) dos dois grupos também não diferiu entre os dois tipos objetos, $F_s(1, 54) < 1.78$, $p_s = .18$.

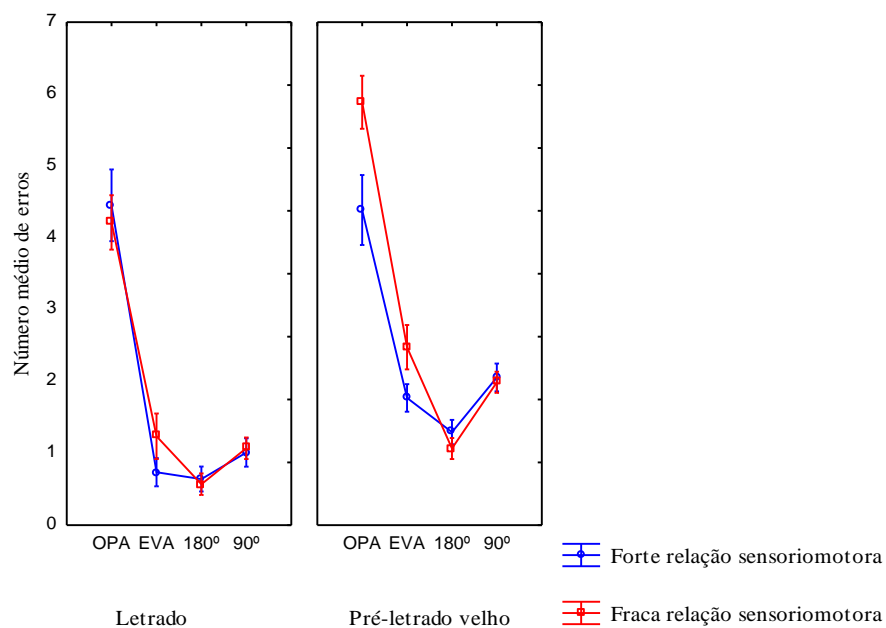


Figura 7. Distribuição dos erros pelos tipos de distratores para os grupos letrado e pré-letrado velho, em função da força de interação sensoriomotora dos objetos. A barra de erro corresponde ao SEM.

Finalmente, se os objetos com forte relação sensoriomotora, por comparação aos objetos com fraca relação sensoriomotora, podem facilitar a discriminação das imagens em espelho (Fernandes & Kolinsky, 2013) é impreterível destrinçar a influência da aquisição da literacia das propriedades visuomotoras dos objetos na discriminação da orientação. Assim, comparou-se diretamente as diferenças no padrão de distribuição dos erros de tipo OPA, EVA e 180°, em função do tipo de objeto (i.e, com relação sensoriomotora forte vs. fraca), privilegiando-se, por um lado, as comparações entre os grupos letrado e pré-letrado velho e, por outro lado, entre os grupos pré-letrado velho e pré-letrado novo. Deste modo, se por um lado, foi possível avaliar os efeitos da literacia, pelo outro lado foi também possível avaliar

o efeito do desenvolvimento maturacional separadamente (correção Bonferroni, consideraram-se significativos valores de $p < .008$).

Tabela 2.

Distribuição da média de erros pelo distratores, em função do grupo experimental e da força de interação sensoriomotora dos objetos

Tipo de objeto	Número de erros					
	Forte relação sensoriomotora			Frac relação sensoriomotora		
	OPA	EVA	180°	OPA	EVA	180°
Letrado	8.90 (4.62)	1.47 (1.36)	1.28 (1.14)	8.42 (3.34)	2.47 (2.58)	1.14 (1.31)
Pré-letrado velho	8.77 (4.52)	3.54 (2.13)	2.59 (1.91)	11.77 (3.58)	4.95 (3.16)	2.13 (1.42)
Pré-letrado novo	8.07 (3.45)	6.85 (2.87)	4.21 (2.00)	8.78 (1.92)	6.07 (2.75)	3.64 (2.13)

Nota: Desvio Padrão entre parêntesis.

Como ilustra a Tabela 2, enquanto para os objetos com fraca relação sensoriomotora, os pré-letrados velhos fizeram mais erros de discriminação de tipo OPA que os letrados e pré-letrados novos, $F_s(1, 54) > 7.61$, $ps < .007$, para os objetos com forte relação sensoriomotora, os grupos tiveram igual dificuldade em discriminar o estímulo-alvo da sua reflexão OPA. Como esperado, os letrados fizeram menos erros de reflexão de tipo EVA que o grupo pré-letrado velho, $F_s(1, 54) > 8.04$, $ps < .006$, independentemente da força de ativação sensoriomotora dos objetos. Não obstante, a influência da aquisição da literacia no desenvolvimento do enantiomorfismo, em detrimento dos fatores maturacionais, foi apenas saliente quando controlada a influência das propriedades visuomotoras dos objetos. Enquanto que, para os objetos com fraca relação sensoriomotora, os grupos pré-letrados tiveram igual dificuldade em discriminar o estímulo-alvo da sua reflexão de tipo EVA, para os objetos com forte relação sensoriomotora, os pré-letrados velhos fizeram menos erros de discriminação de tipo EVA que os pré-letrados novos, $F(1, 54) = 21.07$, $p < .001$. O padrão de distribuição dos erros de rotação de 180° foi independente das propriedades visuomotoras dos objetos. Para ambos os tipos de objetos, enquanto os letrados e pré-letrados velhos fizeram o mesmo número de erros de rotação de 180°, os pré-letrados novos fizeram mais erros de rotação de 180° que os pré-letrados velhos, $F_s(1, 54) > 7.68$, $ps = .007$. De facto, a ativação automática de informação sensoriomotora não influencia a discriminação das rotações planares, pelo que o desenvolvimento da capacidade de discriminação deste tipo de contraste é, possivelmente, dependente de fatores maturacionais, em detrimento da influência da literacia ou das propriedades visuomotoras dos objetos.

3.2. Relação entre a literacia e a discriminação da orientação dos objetos

Com o objetivo de analisar a relação entre os erros de discriminação da orientação dos objetos e as competências de literacia foi analisada a correlação parcial (r de Pearson), controlando o efeito da idade, para os grupos emparelhados em idade. Como erros de discriminação da orientação dos objetos foram considerados os contrastes de orientação OPA, EVA e 180°. Enquanto para o grupo pré-letrado velho considerou-se como competências de literacia o somatório do conhecimento de letras, para os letrados foi computado um índice de *fluência de leitura*, como medida do acesso direto ao léxico ortográfico, que resulta da soma dos resultados obtidos na leitura de palavras de elevada frequência da Bateria 3-DM e no TIL (vide Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001). Garantiu-se o cumprimento do pressuposto da normalidade dos resíduos para todas as correlações analisadas ($ps > .108$).

Para o grupo letrado, observaram-se correlações negativas entre as competências de literacia e os erros de discriminação da orientação dos objetos. Assim, quanto maior a fluência de leitura das crianças letradas, menos erros de tipo OPA, $r = -.47$, $p = .01$, EVA, $r = -.67$, $p = .001$, e 180°, $r = -.47$, $p = .03$. Para o grupo pré-letrado velho, quanto maior o conhecimento de letras menor o número de erros de tipo EVA, $r = -.48$, $p = .01$. Contudo, para este grupo, o conhecimento de letras não teve associação com os erros de tipo OPA, $r = -.16$, $p = .24$, nem de 180°, $r = -.32$, $p = .07$.

Com o objetivo de explorar a influência da idade, inteligência não-verbal, e competências de literacia na discriminação dos contrastes do tipo OPA, EVA e 180°, foram realizadas três análises de regressão linear múltipla segundo o método *stepwise*, para cada um dos grupos - letrado e pré-letrado velho -. Foram introduzidos como preditores a idade, o desempenho nas Matrizes Progressivas Coloridas de Raven (como índice da inteligência não-verbal e das competências visuoespaciais) e as competências de literacia para o total de erros de cada um dos tipos: OPA, EVA e 180°. Em todos os modelos de regressão garantiu-se o cumprimento dos pressupostos da homocedasticidade, multicolinearidade, normalidade dos resíduos e de ausência de autocorrelação entre os resíduos⁷.

⁷Pressupostos analisados pelos testes de Pesaran-Pesaran ($ps > .11$), correlação r de Pearson entre os preditores ($rs < .28$, $ps > .09$), Kolmogorov-Sminorv ($ps > .108$) e Durbin-Watson ($1.73 < dws < 2.25$), respetivamente.

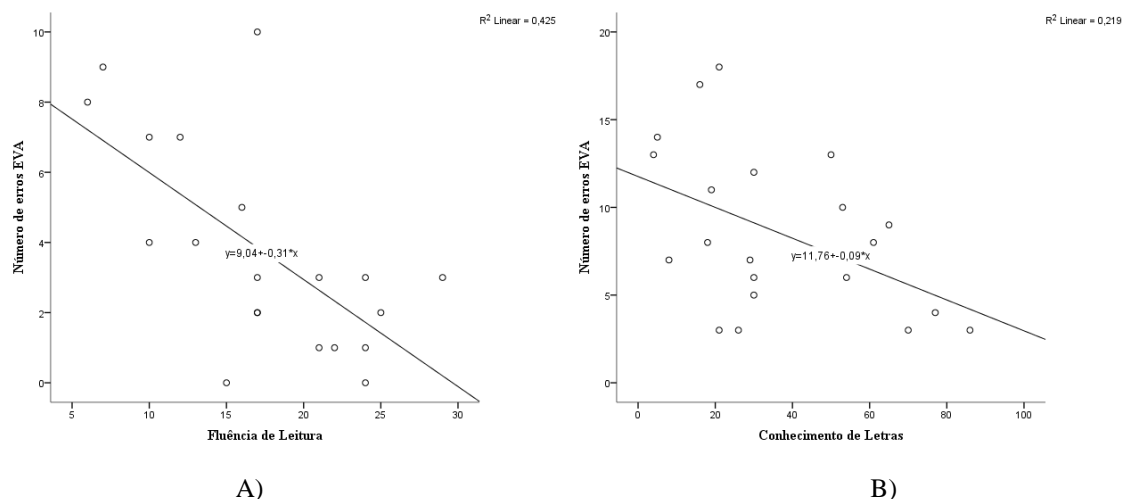


Figura 8. Diagramas de dispersão e retas de regressão para os erros de reflexão do tipo EVA e o preditor literacia: A) fluência de leitura para letrados e B) conhecimento de letras para pré-letrados velhos.

Para ambos os grupos - crianças letradas do 1º ano e crianças pré-escolares com a mesma idade -, as análises de regressão demonstraram que o melhor preditor da diminuição dos erros de tipo EVA (vide Figura 8) foram as competências de literacia, i.e., conhecimento de letras para os pré-letrados $F(1, 20) = 5.61$, $R^2 = .21$, $\beta = -.46$, $p = .02$, e fluência de leitura para os letrados, $F(1, 18) = 13.27$, $R^2 = .42$, $\beta = -.65$, $p = .002$, em detrimento da idade e inteligência não-verbal. Nenhum dos preditores (incluindo o conhecimento de letras / fluência de leitura), foi significativo para os erros OPA e 180°.

3.3. Relação entre a literacia, a informação sensoriomotora dos objetos e a discriminação da orientação

Na secção 3.1. os resultados da análise de variância demonstraram que quer a aquisição de competências de literacia quer a ativação de informação sensoriomotora influenciaram a discriminação da orientação dos objetos. Nesta subsecção analisámos de forma mais fina se a ativação de informação sensoriomotora poderia explicar parte da variância dos modelos de regressão apresentados no subcapítulo 3.2. Neste sentido, foram realizadas análises de regressão segundo o método simultâneo, com o intuito de explorar a influência da idade, da inteligência não-verbal, das competências de literacia (usando os índices supracitados) e da força de relação sensoriomotora dos objetos (i.e., forte vs. fraca) na discriminação dos contrastes de orientação relevantes para o nosso estudo (i.e., OPA, EVA e 180°). A força de relação sensoriomotora dos objetos, por ser uma variável categorial de dois níveis (fraco e

forte) foi introduzida nos modelos como variável *dummy* (0 – fraca relação sensoriomotora; 1 – forte relação sensoriomotora). Num primeiro momento, para as análises de regressão, consideraram-se conjuntamente os dois grupos emparelhados em idade, i.e., letrados e pré-letrados velhos. Posteriormente, dada a heterogeneidade dos dois grupos ao nível das competências de literacia e escolarização, para os modelos de regressão robustos, realizaram-se as mesmas análises separadamente para cada grupo.

As análises de regressão demonstraram que as competências de literacia foram o preditor mais confiável da diminuição do número de erros do tipo EVA, $F(4, 81) = 10.16$, $R^2 = .33$, $\beta = -.53$, $p < .001$, no entanto, também as propriedades visuomotoras dos objetos influenciaram as competências de discriminação de enantiomorfos, uma vez que os erros de tipo EVA foram significativamente menores para objetos com forte relação sensoriomotora do que com relação fraca, $\beta = -.22$, $p < .001$. Nem a idade nem a inteligência não-verbal foram preditores significativos dos erros EVA.

O modelo de regressão foi igualmente robusto considerando separadamente as crianças letradas, $F(4, 37) = 3.97$, $R^2 = .30$, $p = .009$, e pré-letradas com a mesma idade, $F(4, 39) = 3.13$, $R^2 = .24$, $p = .02$. O melhor preditor da diminuição do número de erros EVA foram as competências de literacia, i.e., fluência de leitura para os letrados, $\beta = -.42$, $p = .004$, e conhecimento de letras para os pré-letrados, $\beta = -.35$, $p = .02$, em detrimento da inteligência não-verbal e idade. O benefício da informação sensoriomotora na discriminação dos contrastes enantiomorfos foi marginalmente significativo para ambos os grupos: letrado, $\beta = -.24$, $p = .08$; pré-letrado, $\beta = -.25$, $p = .07$. Estes resultados demonstram que, a literacia, em detrimento da idade e do desenvolvimento cognitivo, constitui o principal precursor do desenvolvimento do enantiomorfismo, pelo que a sua influência é exercida logo na fase inicial da aprendizagem da leitura e da escrita. Todavia, também a ativação de informação sensoriomotora beneficia a discriminação das reflexões de tipo EVA, mesmo para as crianças letradas. A tendência é que a perícia na leitura reduza a influência da informação sensoriomotora.

O modelo de regressão para predição dos erros de tipo OPA foi apenas marginalmente significativo para o grupo de crianças letradas, $F(4, 81) = 2.35$, $R^2 = .10$, $p = .06$, mas não para o grupo pré-letrado velho, $F(4, 39) = 1.61$, $p = .19$. Para o primeiro grupo, a literacia foi o único preditor explicativo do modelo na diminuição dos erros deste tipo, $\beta = -.23$, $p = .05$, pelo que a discriminação das reflexões OPA foi independente da ativação (ou não) de informação sensoriomotora.

Considerando conjuntamente os grupos letrado e pré-velho, também a literacia foi o único preditor significativo da diminuição do número de erros de rotação de 180°, $F(4, 81) = 5.56$, $R^2 = .21$, $p < .001$. Todavia, a análise diferenciada por grupo experimental demonstrou que nenhuma das variáveis independentes, i.e., idade, inteligência não-verbal, conhecimento de letras/ fluência de leitura, e propriedades visuomotoras, foi um preditor significativo do número de erros 180°. Possivelmente, a capacidade de discriminação das rotações de 180° melhora após um treino massivo de discriminação durante a aquisição da literacia, no entanto esta capacidade não depende apenas da literacia.

4. Discussão

Investigações prévias têm demonstrado que a aprendizagem de um sistema de escrita que integra letras em espelho (i.e., b-d e p-q) requer a supressão da propriedade original do sistema visual de invariância em espelho, desenvolvendo-se, por conseguinte, a capacidade de discriminação em espelho, que é generalizada a categorias visuais não-linguísticas (e.g., Fernandes & Kolinsky, 2013; Kolinsky et al., 2011). Apesar de vários estudos neste campo científico (e.g., Bornstein et al., 1978; Rudel & Teuber, 1963), até à data as evidências sobre a influência da literacia no desenvolvimento do enantiomorfismo padecem de limitações metodológicas. O presente estudo surge com o objetivo de investigar os fatores influentes no desenvolvimento da capacidade de discriminar imagens em espelho procurando, em particular, destringir a influência da literacia do impacto da força da informação sensoriomotora dos objetos, ao mesmo tempo que se controlaram os fatores maturacionais inerentes ao desenvolvimento cognitivo.

Desta forma, ao invés de avaliar adultos letrados, iletrados e ex-iletrados, como realizado em investigações anteriores (e.g. Fernandes & Kolinsky, 2013; Kolinsky et al., 2011), foram testados três grupos de crianças, que diferiam em competências de literacia (letrado vs. pré-letrado velho) e em idade (pré-letrado velho vs. pré-letrado novo). Todas as crianças realizaram uma tarefa de procura visual do estímulo-alvo entre um conjunto de distratores que diferiam apenas na orientação. Os distratores eram imagens em espelho (i.e., de tipo OPA, OSA, EVA e EHA) e rotações planares (i.e, 90° e 180°) do estímulo-alvo. De modo a diferenciar a influência da literacia das propriedades visuomotoras dos objetos, foram usados objetos familiares manipuláveis, que diferiam em função da força da relação entre a orientação do objeto e a forma de apreensão/manipulação do mesmo (forte vs. fraca).

Os resultados do presente estudo demonstraram a existência de diferenças na distribuição dos erros em função do nível de literacia das crianças. Como esperado, de acordo com a hipótese da reciclagem neuronal (Dehaene, 2004; Dehaene & Cohen, 2007, 2011), as crianças letradas tiveram, de um modo geral, maior facilidade em identificar o estímulo-alvo entre os distratores, comparativamente aos dois grupos pré-letrados, que apresentaram um desempenho similar entre si. De facto, o treino percetivo intensivo decorrente da aquisição da literacia influencia de um modo genérico o processamento de categorias visuais não-linguísticas, promovendo a perceção de contornos (Szwed, Ventura, Querido, Cohen, & Dehaene, 2012) e o recurso a estratégias mais analíticas, flexíveis e composicionais (Ventura

et al., 2013) que, entre muitos outros benefícios, favorecem a discriminação da orientação dos objetos (e.g., Gregory et al., 2011; Kolinsky et al., 2011). Porém, apesar da influência global da literacia na representação da orientação, o padrão de distribuição dos erros foi distinto em função dos distratores e do nível de literacia das crianças.

Em conformidade com investigações prévias (e.g., Gregory e McCloskey, 2010; Gregory et al., 2011; Logothetis et al., 1995; Rollenhagen & Olson, 2000), para todas as crianças, a discriminação das imagens em espelho foi uma tarefa particularmente difícil, ao invés da discriminação das rotações planares que não impôs grande dificuldade. De facto, a região occipitotemporal ventral do sistema visual é originalmente invariante às imagens em espelho (Dehaene et al., 2010; Pegado et al., 2011), mas sensível às rotações planares (Logothetis et al., 1995). No entanto, o sistema visual apresenta originalmente maiores dificuldades em discriminar reflexões laterais do que verticais (e.g., Gross & Bornstein, 1978). Assim, como esperado, os erros de reflexão lateral de tipo OPA e EVA foram mais frequentes do que os erros de reflexão vertical de tipo OSA e EHA.

O padrão de resultados encontrado para as crianças letradas e pré-escolares foi sobreponível aos descritos por Gregory et al. (2011) para as crianças de seis e quatro anos, respetivamente, mesmo controlando a influência de fatores maturacionais e das propriedades visuomotoras dos objetos. Por outras palavras, os distratores mais difíceis de discriminar foram as reflexões de tipo OPA. A capacidade de discriminação deste contraste de orientação não foi alvo de nenhum efeito desenvolvimental (i.e., nem da aquisição da literacia nem de fatores maturacionais) e, a sua prevalência foi igualmente elevada, independentemente da exigência mnésica envolvida na tarefa. Segundo Gregory e McCloskey (2010), a elevada prevalência de erros de tipo OPA, comparativamente aos erros de tipo OSA, atribui-se à existência de menos propriedades distintivas entre os quadrantes dos lados direito - esquerdo do referencial do objeto, do que entre os quadrantes superiores e inferiores do mesmo referencial. Não obstante, é de salientar que as reflexões de tipo OPA são reflexões laterais que não são treinadas durante a alfabetização, pelo que as dificuldades emergentes na discriminação deste contraste podem também atribuir-se à ausência de treino e, portanto, à manutenção do mecanismo de invariância em espelho para este tipo de reflexões. É assim possível, que um treino intenso neste tipo de contrastes pudesse levar à supressão (pelo menos parcial) desta invariância. Estudos futuros poderão estudar esta predição.

Embora a discriminação das reflexões de tipo OPA tenha sido uma tarefa igualmente árdua para todos os grupos, o mesmo não se verificou na discriminação das reflexões EVA. Estudos anteriores realizados com adultos letrados, ex-iletrados e iletrados (Fernandes &

Kolinsky, 2013; Kolinsky et al., 2011), assim como com crianças letradas e pré-letradas que diferiam em idade (Gregory et al., 2011) sugeriram que a aprendizagem de um sistema de escrita que integra letras em espelho incita ao desenvolvimento do enantiomorfismo, que se generaliza a categorias visuais além do domínio linguístico (Fernandes & Kolinsky, 2013). No entanto, nenhum destes estudos permitiu destrinçar a influência da aquisição da literacia do desenvolvimento maturacional. Contornando essa limitação metodológica, os resultados do presente estudo indicam, como esperado, que os letrados foram mais eficientes na discriminação das reflexões de tipo EVA, comparativamente aos dois grupos pré-escolares. Todavia, também os pré-letrados velhos fizeram menos erros na discriminação das reflexões de tipo EVA que os pré-letrados novos. Embora estes resultados sejam sugestivos de que o enantiomorfismo possa atribuir-se quer à aquisição da literacia quer a fatores maturacionais, as análises de regressão *stepwise* permitem destrinçar a influência de ambos os fatores. Apenas as competências de literacia (i.e., conhecimento de letras para os pré-letrados e fluência de leitura para os letrados) foram um preditor robusto da diminuição do número de erros de tipo EVA. Nem a idade nem o desenvolvimento cognitivo permitiram inferir os erros na discriminação de enantiomorfos. A diferença de desempenho entre os pré-letrados novos e velhos não se atribui, portanto, à influência de fatores maturacionais. É de salientar que, embora os grupos pré-letrado velho e pré-letrado novo possuam um conhecimento de letras equivalente, as crianças pré-letradas velhas são, em média, 5 meses mais velhas do que as crianças do grupo pré-letrado novo. Possivelmente, a diferença de idades entre os grupos pode ter facultado aos pré-escolares mais velhos um maior tempo de exposição às formas visuais dos estímulos linguísticos e, subsequentemente, um treino mais prolongado de discriminação das letras espelhadas. Estudos futuros poderão averiguar se o grau de exposição visual a símbolos que se distinguem por contrastes em espelho tem também um papel na emergência de uma forma rudimentar de enantiomorfismo.

A aprendizagem de um sistema de escrita que integra letras em espelho não beneficiou a discriminação de contrastes de orientação não espelhados (i.e., rotações planares), nem mesmo das variações de orientação importantes no alfabeto Latino (i.e., rotações de 180°: u-n). Aliás, a superioridade no desempenho das crianças pré-letradas velhas, por comparação às pré-letradas novas, na discriminação das rotações de 180° sugere a influência de fatores maturacionais no aperfeiçoamento desta capacidade de discriminação. Como esperado, para todas as crianças, as rotações de 180° foram os distratores mais fáceis de discriminar, mesmo quando comparados às rotações planares de 90°. De acordo com Fernandes e Kolinsky (2013) a maior facilidade de discriminação das rotações de 180° não se atribui à diferença

angular do estímulo-alvo, uma vez que que partilham a mesma diferença angular com as imagens em espelho de tipo OPA e EVA.

Para a mesma tarefa experimental, embora realizada com dois grupos de crianças que diferiam em idade e com estímulos experimentais que eram maioritariamente objetos com forte relação sensoriomotora, Gregory et al. (2011) encontraram que, para as crianças de 6 anos os distratores mais difíceis de discriminar foram as reflexões de tipo OPA, enquanto para as crianças mais novas, i.e., de 4 anos, as reflexões de tipo OPA e EVA foram igualmente difíceis de discriminar. Controlando a influência dos fatores maturacionais e das propriedades visuomotoras dos objetos, no presente estudo, o padrão qualitativo de resultados encontrado para as crianças letradas e pré-escolares (inclusive para as pré-letradas da mesma idade que as letradas), foi similar ao descrito por Gregory et al. para as crianças de 6 e 4 anos, respetivamente. Estes resultados acrescentam a evidência de que o efeito desenvolvimental descrito por Gregory et al. no desenvolvimento do enantiomorfismo decorre especificamente da aquisição da literacia, não podendo ser explicado pela idade, pelo desenvolvimento cognitivo, nem mesmo pela exigência mnésica envolvida na tarefa.

Não obstante, não é apenas a literacia que influencia a discriminação da orientação, pelo que também as propriedades inerentes aos próprios objetos podem facilitar as representações da orientação. O presente estudo converge com o de Fernandes e Kolinsky (2013), demonstrando que os objetos com forte relação sensoriomotora, em detrimento dos objetos com fraca relação, facilitaram a discriminação da orientação. Estudos neuroimagiológicos demonstraram que a existência de uma relação forte entre a orientação do objeto e a forma de manipulação deste evoca automaticamente representações computadas pela via dorsal (Creem-Regehr & Lee, 2005; Tucker & Ellis, 1998), mesmo numa tarefa de visão-para-perceção em que as representações envolvidas dependem especialmente da via ventral (Milner & Goodale, 1995, 2008), facilitando, por isso, a discriminação da orientação (Chao & Martin, 2000).

Os resultados da presente investigação mostram, de forma inovadora, que o benefício da ativação automática de informação sensoriomotora não é genérico para a discriminação da orientação, mas é particularmente saliente antes da aquisição da literacia (em crianças pré-escolares) e especificamente para imagens em espelho.

A ativação automática de informação sensoriomotora não exerceu qualquer benefício sobre a discriminação das rotações planares, nem sobre a discriminação das imagens em espelho para as crianças letradas. Possivelmente, os objetos com forte relação sensoriomotora por evocarem automaticamente representações computadas pela região

parietal do córtex cerebral, i.e., região responsável pelas representações motoras dos objetos e sensível às diferenças entre uma imagem e a sua reflexão em espelho (Valyear et al., 2006), facilitam a discriminação das imagens em espelho. Porém, como a região occipitotemporal é apenas invariante em espelho (Dehaene et al., 2010; Pegado et al., 2011), mas sensível às rotações planares (Logothetis et al., 1995), a discriminação das rotações no plano não é dependente da ativação da via dorsal do sistema visual e, portanto, as propriedades visuomotoras dos objetos não facilitam a discriminação das rotações.

Além disso, apenas as crianças pré-escolares, mas não as crianças letradas, beneficiaram da interação sensoriomotora com os objetos para a discriminação das imagens em espelho. Estudos prévios demonstraram que, as representações motoras da escrita manual, computadas em parte pela região parietal inferior bilateral, podem facilitar a discriminação das letras em espelho durante a fase inicial da aprendizagem das letras do alfabeto (James, 2010; Longcamp et al., 2008). Após a perícia na leitura, as letras em espelho são codificadas, na região occipitotemporal ventral, como perceptos singulares aos quais correspondem representações fonológicas distintas (Dehaene et al., 2010). Isto significa que, com a aquisição da literacia, o enantiomorfismo desenvolve-se como parte integrante da visão-para-percepção (Fernandes & Kolinsky, 2013), generalizando-se a outras categorias visuais (Danzinger & Pederson, 1998; Fernandes & Kolinsky, 2013; Kolinsky et al., 2011).

O presente estudo fornece o contributo inovador de que, no período anterior e/ou inicial da aquisição da literacia as representações computadas pela via dorsal do sistema visual, particularmente através da ativação de informação sensoriomotora dos objetos, parecem ser cruciais para a discriminação das imagens em espelho. As análises de regressão demonstraram que, mesmo para as crianças letradas, que se encontram numa fase inicial do desenvolvimento leitura, a ativação de informação sensoriomotora beneficiou a discriminação dos contrastes enantiomorfos. É de salientar que, as crianças letradas avaliadas frequentavam o primeiro ano de escolaridade e, portanto, ainda eram leitores aprendizes, dado que a capacidade de discriminação das letras em espelho tende a consolidar-se no final do 2º ano de escolaridade (Fisher, Liberman, & Shankweiler, 1978). Curiosamente, a tendência foi que, com a perícia na leitura, a ativação da informação sensoriomotora seja menos relevante na discriminação das imagens em espelho. Este resultado é inovador, sugerindo que a via dorsal exerce um papel importante nas formas mais básicas de discriminação em espelho. No entanto, com a supressão da propriedade de invariância em espelho da via ventral, o enantiomorfismo parece ser assumido por este circuito e o envolvimento da via dorsal menos requerido.

Se os objetos com forte relação sensoriomotora, por comparação aos objetos com fraca relação, facilitam a discriminação das imagens em espelho, particularmente para as crianças pré-letradas, foi impreterível destringer a influência da literacia das propriedades visuomotoras dos objetos no desenvolvimento do enantiomorfismo, enquanto se controlam fatores inerentes ao desenvolvimento maturacional. Controlando a influência da força de interação sensoriomotora dos objetos, o impacto específico da aquisição da literacia no enantiomorfismo foi proeminente, principalmente para os grupos pré-letrados, para os quais o benefício da informação sensoriomotora era particularmente relevante. De acordo com o esperado, a superioridade dos letrados na discriminação dos contrastes enantiomorfos, comparativamente a ambos os grupos pré-letrados, foi independente da ativação (ou não) de informação sensoriomotora. Contudo, o mesmo padrão de resultados não se encontrou para os grupos pré-letrados. Excluindo a influência da ativação da informação sensoriomotora na discriminação das reflexões de tipo EVA, verificou-se que apenas o conhecimento de letras (associada a competências de literacia, mas ainda não de leitura) influencia o desenvolvimento do enantiomorfismo, em detrimento dos fatores maturacionais. Os resultados das análises de regressão permitiram clarificar que, embora a ativação automática de informação sensoriomotora facilite a discriminação dos contrastes enantiomorfos, a literacia (conhecimento de letras e leitura) é, de facto, o principal gatilho no desenvolvimento do enantiomorfismo. Mesmo para os pré-letrados, o conhecimento de letras foi um forte preditor da diminuição do número de erros de tipo EVA, em detrimento da idade e do desenvolvimento cognitivo, sugerindo que o impacto da aquisição da literacia no desenvolvimento do enantiomorfismo inicia-se mesmo antes do início da aprendizagem da leitura e da escrita.

Como esperado, a força da informação sensoriomotora não influenciou o padrão qualitativo de distribuição dos erros de tipo 180° pelos diferentes grupos experimentais. O efeito desenvolvimental sugerido para o aperfeiçoamento da capacidade de discriminação das rotações planares de 180° parece atribuir-se exclusivamente a fatores maturacionais, dada a similitude de desempenho entre as crianças da mesma idade, mas superioridade relativamente às crianças mais novas. A discriminação das reflexões de tipo OPA foi independente de qualquer influência, quer seja inerente à aquisição da literacia, a fatores maturacionais ou da ativação de informação sensoriomotora sobre os objetos.

Todavia, as análises de regressão sugeriram que, globalmente, a literacia também beneficia a discriminação da orientação dos contrastes de tipo OPA e 180°. Este resultado atribui-se, possivelmente, ao benefício genérico da aquisição da literacia no processamento

visual e, particularmente, na discriminação da orientação dos objetos, largamente documentado na literatura (e.g., Gregory & McCloskey, 2010; Gregory et al., 2011; Ventura et al., 2013). Para além disso, no caso das letras, em que o referencial externo e o referencial centrado no objeto (na letra) se sobrepõem, é possível que haja uma influência (embora mínima, de acordo com os resultados presentes) na discriminação de reflexões OPA. Para as rotações de 180°, possivelmente, a existência de um treino massivo de discriminação durante a aprendizagem da leitura e da escrita propicia uma maior sensibilidade a estas variações de orientação, embora a capacidade de discriminação deste tipo de contraste não seja diretamente associada à aquisição da literacia.

O padrão de resultados suprarreferido não pode ser atribuído a dificuldade dos pré-letrados no processamento visual *per se*, dado que estes são tão competentes quando os letrados na discriminação de contrastes não-espelhados. Porém, a literacia está altamente correlacionada com a escolarização, que potencia, de um modo geral, as funções cognitivas e a análise composicional das formas visuais (Kolinsky & Morais, 1994; Kolinsky, Morais, Content, & Cary, 1987; Morais & Kolinsky, 2001). Em conformidade com investigações prévias (Morais & Kolinsky, 2001), a análise dos resultados das provas complementares de caracterização do perfil cognitivo dos três grupos de crianças, sugerem que a alfabetização beneficia não só a cognição visual como um vasto conjunto de funções cognitivas (e.g., consciência fonémica, conhecimento semântico, memória, raciocínio abstrato). No entanto, apesar das dificuldades em destringir a influência da literacia da escolarização, as análises de regressão são claras em atribuir o desenvolvimento da capacidade de discriminar enantiomorfos à aquisição da literacia, em detrimento do desenvolvimento cognitivo geral. Todavia, os estudos com adultos, particularmente com adultos iletrados e ex-iletrados, continuam a ser imprescindíveis, permitindo-nos diferenciar a influência da literacia da escolarização no desenvolvimento do enantiomorfismo, bem como compreender os processos visuais após o desenvolvimento da perícia na leitura.

Este estudo demonstrou, pela primeira vez até à data, que embora a aquisição da literacia beneficie, de um modo geral, a capacidade de discriminação das imagens em espelho, o seu benefício é específico para as reflexões para as quais o sistema visual é originalmente invariante, mas cuja discriminação é treinada durante a aprendizagem do alfabeto Latino (i.e., reflexões de tipo EVA). Contudo, mesmo após a aquisição da literacia, a discriminação das imagens em espelho, particularmente das reflexões laterais (i.e., do tipo OPA e EVA), continua a ser uma tarefa bastante mais exigente que a discriminação das rotações planares.

O enantiomorfismo, sendo adquirido em consequência de uma experiência cultural, num período específico do desenvolvimento ontogenético, é evocado de forma menos automática que os outros contrastes de orientação, para os quais o sistema visual é originariamente sensível (McCandliss et al., 2003). Estes resultados constituem evidências de que, a competição neuronal que se gera decorrente da aquisição da literacia apenas possibilita uma especialização parcial da VWFA para a discriminação das imagens em espelho (McCandliss et al., 2003), que embora seja profundamente enraizada para os caracteres linguísticos (Pegado et al., 2013), não é totalmente desenvolvida para a discriminação das reflexões de categorias visuais não-linguísticas (Dehaene et al., 2010; Pegado et al., 2013). Casos clínicos de lesão parietal permitem concluir que, mesmo após a aquisição da literacia, os neurónios do córtex parietal continuam a ser a região de excelência para discriminação em espelho de objetos de categorias visuais não-linguísticas (vide Davidoff & Warrington, 2001; Priftis, et al., 2003), mas não dos caracteres linguísticos, cuja função é totalmente assumida pela via ventral do sistema visual (Davidoff & Warrington, 2001; Vinckier et al., 2006).

Sumariamente, o presente estudo forneceu três contributos relevantes: (i) a aquisição da literacia beneficia não só a discriminação das imagens em espelho, como a sua influência é específica para o tipo de contrastes para os quais o sistema visual é originalmente invariante e que são treinados durante a aprendizagem da leitura e da escrita (i.e., de tipo EVA); (ii) a ativação de informação sensoriomotora sobre os objetos facilita a discriminação das imagens em espelho, apenas no período anterior à aquisição da literacia e à especialização da VWFA no enantiomorfismo; (iii) a aquisição da literacia anula parcialmente o benefício da informação sensoriomotora na discriminação das imagens em espelho.

De um modo geral, estes resultados são sugestivos de que a aquisição da literacia incita ao desenvolvimento de conexões privilegiadas do sistema visual com sistemas cognitivos inicialmente independentes, nomeadamente com as áreas visuais (Szwed et al., 2012), linguísticas (Vinckier et al., 2006), e motoras (James, Humphrey, & Goodale, 2001). A presente investigação detém fortes implicações clínicas e educacionais, dado que, fornece importantes contribuições teóricas para a compreensão da influência da leitura em sistemas cognitivos independentes e indicações práticas para a elaboração de programas de intervenção direcionados para a aprendizagem da leitura.

5. Conclusão

O presente estudo teve como objetivo investigar a influência da literacia e das propriedades visuomotoras dos objetos na discriminação da orientação, enquanto se controlaram fatores maturacionais. Investigações prévias apontaram que a aprendizagem de um sistema de escrita que integra letras em espelho, como o alfabeto Latino, constitui o principal precursor do enantiomorfismo para objetos linguísticos e não-linguísticos (Fernandes & Kolinsky, 2013). Porém, embora as explicações para o desenvolvimento do enantiomorfismo recaíam sobre a aquisição da literacia, algumas questões importantes permaneciam por esclarecer: qual o impacto da maturação cognitiva no desenvolvimento do enantiomorfismo? Qual a influência das propriedades visuomotoras dos objetos nesta capacidade? Neste sentido, a presente investigação permite clarificar alguns aspetos metodológicos dos estudos desenvolvidos até à atualidade no âmbito deste tema científico e, também, acrescentar questões e contributos importantes ao debate e à investigação.

As conclusões deste estudo convergiram com evidências prévias (Gregory et al., 2011; Fernandes & Kolinsky, 2013), demonstrando que a aquisição da literacia é, efetivamente, o principal precursor do enantiomorfismo, em detrimento de fatores maturacionais. Todavia, estudos ulteriores poderão também averiguar se o grau de exposição visual a símbolos que se distinguem por contrastes em espelho tem também alguma influência na emergência de uma forma rudimentar de enantiomorfismo. Além disso, os estímulos usados no presente estudo e na maioria das investigações prévias com objetos familiares, eram representações bidimensionais dos objetos. Futuras investigações deverão ser desenvolvidas para compreender os processos cognitivos subjacentes à representação da orientação para objetos tridimensionais e, de que forma, as representações em múltiplas perspetivas destes objetos (Bülthoff, Edelman, & Tarr, 1994; Tarr, 1998) podem facilitar a discriminação da orientação.

O contributo inovador da presente investigação prende-se, essencialmente, com o papel da ativação de informação sensoriomotora na discriminação das imagens em espelho, particularmente no período anterior e/ou inicial da aquisição da literacia. Os dados comportamentais sugerem que o desenvolvimento do enantiomorfismo, como parte integrante da visão-para-perceção, reduz o envolvimento das representações motoras dos objetos na discriminação das imagens em espelho. Porém, investigações futuras serão necessárias para investigar esta afirmação. Por um lado, o estudo da influência das propriedades visuomotoras dos objetos na discriminação das reflexões, com recurso à

ressonância magnética funcional em adultos letrados, ex-iletrados e iletrados, permitiria compreender o papel da via dorsal na discriminação em espelho, e a sua interação com o desenvolvimento de uma leitura proficiente. Por outro lado, o recurso a técnicas neuroimagiológicas e/ou eletrofisiológicas seria fulcral para a compreensão da influência da aquisição da literacia no processamento visual dual.

A evidência de que a ativação automática de informação sensoriomotora facilita a discriminação das imagens em espelho antes da especialização da VWFA para a literacia, fornece importantes contribuições teóricas para o desenvolvimento de programas de intervenção, com fins educativos e clínicos, na aprendizagem da leitura. Os resultados alertam para a necessidade de se desenvolverem programas de intervenção com foco no treino de discriminação das letras através da interação sensoriomotora com as mesmas, nomeadamente pela escrita manual e, possivelmente, também pela manipulação de representações tridimensionais das mesmas. Além disso, o treino de discriminação de imagens em espelho, mesmo que de objetos de outras categorias visuais além do domínio linguístico, poderá incitar a transposição desta aprendizagem para as letras em espelho.

Embora a literatura apresente resultados inconsistentes, algumas evidências sugerem que a reversão das letras em espelho é um fenómeno frequentemente observado nas perturbações específicas da leitura, que seria devida a um défice na coordenação funcional entre as representações fonológicas e a forma visual das letras (Lanchmann & Leeuwen, 2014; Lanchmann & Geyer, 2003). Estudos prévios sugeriram que o treino de discriminação das letras em espelho pela atenção direcionada a características críticas à discriminação (Tawney, 1972), bem como pela experiência de interação sensoriomotora com as letras através da escrita manual (James, 2010) facilita a discriminação das letras em espelho por crianças pré-escolares. Deste modo investigações futuras deveriam abordar a influência do treino de discriminação das letras através da interação sensoriomotora (propiciado pela escrita manual ou manipulação das letras e/ou de objetos tridimensionais) no desenvolvimento da capacidade de discriminação das letras em espelho por crianças com estas perturbações de desenvolvimento vs. grupo controlo, averiguando os correlatos neurais deste treino nos dois grupos.

Para concluir, os resultados encontrados para crianças letradas e pré-letradas, por complementaridade aos estudos prévios desenvolvidos com adultos, fornecem contributos importantes para uma melhor compreensão da influência da leitura em sistemas cognitivos independentes e diretrizes para a elaboração de programas de intervenção direcionados para a aprendizagem da leitura, no ensino regular e/ou especial, bem como na intervenção clínica.

6. Referências Bibliográficas

- Ardila, A., Bertolucci, P. H., Braga, L. W., Castro-Caldas, A., Judd, T., Kosmidis, M. H., ... Rosselli, M. (2010). Illiteracy: The Neuropsychology of Cognition Without Reading. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 25, 689-712. doi: 10.1093/arclin/acq079
- Bolger, D. J., Perfetti, C. A., & Schneider, W. (2005). Cross-Cultural Effect on the Brain Revisited: Universal Structures Plus Writing System Variation. *Human Brain Mapping*, 25(1), 92-104. doi: 10.1002/hbm.20124
- Bornstein, M. H., Gross, C. G., Wolf, J. Z. (1978). Perceptual similarity of mirror images in infancy. *Cognition*, 6(2), 89-116. Retirado de https://www.princeton.edu/~cggross/Cognition_1978.pdf
- Bülthoff, H. H., Edelman, S. Y., & Tarr, M. J. (1995). How are three-dimensional objects represented in the brain?. *Cerebral Cortex*, 5(3), 247-260.
- Casey, M. B. (1984). Individual Differences in Use of Left-Right Visual Cues: A Reexamination of Mirror-Image Confusions in Preschoolers. *Developmental Psychology*, 20(4), 551-559. Retirado de https://www.princeton.edu/~cggross/Cognition_1978.pdf
- Castro-Caldas, A., Petersson, K. M., Reis, A., Stone-Elander, S., & Ingvar, M. (1998). The illiterate brain: Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. *Brain*, 121, 1053-1063. doi: 10.1093/brain/121.6.1053
- Chao, L. L. & Martin, A. (2000). Representation of man-made objects in the dorsal stream. *NeuroImage*, 12(4), 478-484.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *NeuroImage*, 22(1), 466-476. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.12.049
- Cohen, L., & Dehaene, S., Naccache, L., Lehéicy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M., & Michel, F. (2000). The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123, 291-307. doi: 10.1093/brain/123.2.291
- Cohen, L., Lehéicy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125, 1054-1069. doi: 10.1093/brain/awf094

- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001). DRC: A Dual Route Cascaded Model of Visual Word Recognition and Reading Aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204 – 256. doi. 10.1037/0033-295X.108.1.204
- Cornell, J. M. (1985). Spontaneous Mirror-Writing in Children. *Canadian Journal of Psychology*, 39(1), 174-179.
- Culham, J. C., Danckert, S. L., DeSouza, J. F. X., Gati, J. S., Menon, R. S., Goodale, M. A. (2003). Visually guided grasping produces fMRI activation in dorsal but not ventral stream brain areas. *Experimental Brain Research*, 153, 180-189. Retirado de http://watarts.uwaterloo.ca/~jdancker/Nimage_of_Cog/Fall_2006/culham_EBR_2003_fMRI_grasping.pdf
- Creem-Regehr, S. H., & Lee, J. N. (2005). Neural representations of graspable objects: are tools special?. *Cognitive Brain Research*, 22(3), 457-469. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.10.006
- Danzier, E., & Pederson, E. (1998). Through the Looking Glass: Literacy, Writing Systems and Mirror-Image Discrimination. *Written Language and Literacy*, 1(2), 153-167.
- Davidoff, J., & Warrington, E. K. (2001). A particular difficulty in discriminating between mirror images. *Neuropsychologia*, 39(10), 1022-1036. doi: 10.1016/S00283932(01)00039-2
- Dehaene, S. (2004). Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The “neuronal recycling” hypothesis. In S. Dehaene, J.R. Duhamel, M. Hauser, & G. Rizzolatti (Eds.), *From monkey brain to human brain*. Cambridge: MIT Press.
- Dehaene, S. (2013). Inside the Letterbox: How Literacy Transforms the Human Brain. *Cerebrum*, 7. Retirado de http://www.dana.org/Cerebrum/2013/Inside_the_Letterbox__How_Literacy_Transforms_the_Human_Brain/
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural Recycling of Cortical Maps. *Neuron*, 56(2), 384-398. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.004>
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(6), 254-62. doi: 10.1016/j.tics.2011.04.003.
- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Filho, G. N., Jobert, A., Dehaene-Lambertz, G., ... Cohen, L. (2010). How Learning to Read Changes the Cortical Networks for Vision and Language. *Science*, 330, 1359-364. doi:10.1126/science.1194140

- Fernandes, T., & Kolinsky, R. (2013). From hand to eye: The role of literacy, familiarity, graspability, and vision-for-action on enantiomorphy. *Acta Psychologica*, 142, 51-51. doi: 10.1016/j.actpsy.2012.11.008
- Fisher, F.W., Liberman, I. Y., & Shankweiler, D. (1978). Reading reversals and developmental dyslexia: a further study. *Cortex*, 14, 496-510. Retirado de <http://www.haskins.yale.edu/Reprints/HL0263.pdf>
- Gibson, E. J., Gibson, J. J., Pick, A. D., & Osser, H. (1962). A developmental study of the discrimination of letter-like forms. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 55(6), 897-906. doi: 10.1037/h0043190
- Gombert, J. E. (1992). *Developpement Metalinguistique, Lecture et Illettrisme*. Université de Haute Bretagne: Centre de Recherche en Psychologie, Cognition et Communication. Retirado de <http://www.adaptationscolaire.net/themes/dile/documents/gombert.pdf>
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Elsevier Science Publishers*, 15(1). Retirado de [http://wexler.free.fr/library/files/goodale%20\(1992\)%20separate%20visual%20pathways%20for%20perception%20and%20action.pdf](http://wexler.free.fr/library/files/goodale%20(1992)%20separate%20visual%20pathways%20for%20perception%20and%20action.pdf)
- Gregory, E., Landau, B., & McCloskey, M. (2011). Representation of object orientation in children: Evidence from mirror-image confusions. *Visual Cognition*, 19(8), 1035 - 1062. doi: 10.1080/13506285.2011.610764
- Gregory, E., & McCloskey, M. (2010). Mirror-image confusions: Implications for representation and processing of object orientation. *Cognition*, 116(1), 110-129. doi: 10.1016/j.cognition.2010.04.005.
- Grill-Spector, K., Kourtzi, Z., & Kanwisher, N. (2001). The lateral occipital complex and its role in object recognition. *Vision Research*, 41(10-11), 1409-1422. Retirado de <http://web.mit.edu/bcs/nklab/media/pdfs/GrillSpectorKourtziKanwisherVisRes01.pdf>
- Gross, C. G., & Bornstein, M. H. (1978). Left and right in science and art. *Leonardo*, 11, 29-38. Retirado de https://www.princeton.edu/~cggross/Leonardo_1978.pdf
- Harris, I. M., Dux, P. E., Benito, C. T., & Leek, C. (2008). Orientation Sensitivity at Different Stages of Object Processing: Evidence from Repetition Priming and Naming. *Plos One*, 3(5). doi: 10.1371/journal.pone.0002256
- Harris, I. M., Harris, J. A., & Caine, D. (2001). Object Orientation Agnosia: A Failure to Find the Axis?. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(6), 800-812. doi:10.1162/08989290152541467

- Hoffman, K. L., & Logothetis, N. K. (2009). Cortical mechanisms of sensory learning and object recognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364, 321-329. doi: 10.1098/rstb.2008.0271
- James, K. H. (2010). Sensori-motor experience leads to changes in visual processing in the developing brain. *Developmental Science*, 13(2), 279-288. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00883.x.
- James, K. H., & Gauthier, I. (2006). Letter processing automatically recruits a sensory-motor brain network. *Neuropsychologia*, 44(14), 2937-2949. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.026
- James, K. H., Humphrey, K., & Goodale, M. A. (2001). Manipulating and Recognizing Virtual Objects: Where the Action Is. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 55(2), 111-120. doi: 10.1037/h0087358
- Kolinsky, R., & Morais, J., (1994). Visual separability: a study on unschooled adults. *Perception*, 23(4), 471-486.
- Kolinsky, R., Morais, J., Content, A., & Cary, L. (1987). Finding parts within figures: a developmental study. *Perception*, 16(3), 399-407.
- Kolinsky, R., & Verhaeghe A. (2011). How literacy affects vision: further data on the processing of mirror images by illiterate adults. *Revista Linguística*, 7(2), 52-65. Retirado de <http://www.letras.ufrj.br/poslinguistica/revistalinguistica/index.php/neurociencia-linguagem/how-literacy-affects-vision-further-data-on-the-processing-of-mirror-images-by-illiterate-adults/>
- Kolinsky, R., Verhaeghe A., Fernandes, T., Mengarda, E. J., Grimm-Cabral, L., Morais, J. (2011). Enantiomorphy Through the Looking Glass: Literacy Effects on Mirror-Image Discrimination. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(2), 210-238. doi: 10.1037/a0022168.
- Lanchmann, T., & Leeuwen, C. (2014). Reading as functional coordination: not recycling but a novel synthesis. *Hypothesis and Theory Article*, 5, 1046. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01046
- Lanchmann, T. & Geyer, T. (2003). Letter reversals in dyslexia: Is the case really closed? A critical review and conclusions. *Psychology Science*, 45, 50-72. Retirado de <http://www.sowi.uni-kl.de/fileadmin/frueh/publications/psysc2003.pdf>
- Leek, E. C. (1998). Effects of stimulus orientation on the identification of common polyoriented objects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(4), 650-658.

- Liberman, A. M. (1991). *Reading is Hard Just Because Listening Is Easy*. Paper presented at the Seventh International Symposium on Development Dyslexia and Dysphasia at the meeting of Academia Rodinensis Pro Remediatone, Weenner-Gren Center, Stockholm, Sweden.
- Logothetis, N. K., Pauls, J., & Poggio, T. (1995). Shape representation in the inferior temporal córtex of monkeys. *Current Biology*, 5(5), 552-563. Retirado de <http://cbcl.mit.edu/people/poggio/journals/logothetis-poggio-current-biology-5.pdf>
- Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J., Anton, J., Roth, M., Nazarian, B., & Velay, J. (2008). Learning through Hand- or Typewriting Influences Visual Recognition of New Graphic Shapes: Behavioral and Functional Imaging Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(5), 802-815. doi: 10.1162/jocn.2008.20504
- Mach, E. (1914). The space sensations of the eye. In E. Mach, *The Analysis of Sensations and the Relation of the Physical to the Psychical* (pp. 102 – 121). Chicago: Open Court Publishing Company.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: W. H. Freeman.
- McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), 293-299. doi: 10.1016/S1364-6613(03)00134-7
- McCloskey, M., Valtonen, J., & Sherman, J. C. (2006). Representing orientation: A coordinate-system hypothesis and evidence from developmental deficits. *Cognitive Neuropsychology*, 23(5), 680-713. doi: 10.1080/02643290500538356.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774-785.
- Morais J., & Kolinsky, R. (2001). The Literate Mind and the Universal Human Mind. In E. Dupoux, *Language, Brain and Cognitive Development; essays in honor of Jacques Mehler* (pp. 463-480). Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology
- Murata, A., Gallese, V., Luppino, G., & Kaseda, M., & Sakata, H. (2000). Selectivity for the Shape, Size, and Orientation of Objects for Grasping in Neurons of Monkey Parietal Area AIP. *Journal of Neurophysiology*, 83(5), 2580-2601. Retirado de <http://jn.physiology.org/content/83/5/2580>

- Núñez-Peña, M. I., & Aznar-Casanova, J. A. (2009). Mental rotation of mirrored letters: Evidence from event-related brain potentials. *Brain and Cognition*, 69, 180-187. doi: 10.1016/j.bandc.2008.07.003
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. doi: 10.1016/0028-3932(71)90067-4
- Pegado, F., Nakamura, K., Braga, L. W., Ventura, P., Filho, N. G., Pallier, C., ... Dehaene, S. (2013). Literacy Breaks Mirror Invariance for Visual Stimuli: A Behavioral Study With Adult Illiterates. 143(2):887-94. *Journal of Experimental Psychology: General*. doi: 10.1037/a0033198.
- Pegado, F., Nakamura, K., Cohen, L., & Dehaene, S. (2010). Breaking the symmetry: Mirror discrimination for single letters but not for pictures in the Visual Word Form Area. *NeuroImage*, 55(2), 742-749. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.11.043
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *NeuroImage*, 19(3), 473-481. doi:10.1016/S1053-8119(03)00084-3
- Priftis, K., Rusconi, E., Umiltà, C., & Zorzi, M. (2003). Pure agnosia for mirror stimuli after right inferior parietal lesion. *Brain*, 126(4), 908-919.
- Ramachandran, V. S., Altschuler, E. L., & Hillyer, S. (1997). Mirror Agnosia. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*, 264(1382), 645-647. Retirado de http://cbc.ucsd.edu/pdf/Mirror_Agnosia_P_Royal_Soc.pdf
- Reis, A., Faisca, L., Castro, S. L., & Petersson, K. M. (2013). Preditores da leitura ao longo da escolaridade: um estudo com alunos do 1º ciclo do ensino básico. In L. M. Morgado, & M. L. Vale-Dias (Eds.), *Desenvolvimento e Educação*. Coimbra: Almedina.
- Rice, N. J., Valyear, K. F., Goodale, M. A., Milner, A. D., & Culham, J. C. (2007). Orientation sensitivity to graspable objects: An fMRI adaptation study. *NeuroImage*, 36(2), 787-793. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.03.032
- Rollenhagen, J. E., & Olson, C. R. (2000). Mirror-Image Confusion in Single Neurons of the Macaque Inferotemporal Cortex. *Science*, 287(5457), 1506-1508.
- Rudel, R. G., & Teuber, H. (1963). Discrimination of direction of line in children. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56(5), 892-898.
- Scliar-Cabral, L. (2010). Evidências a favor da reciclagem neuronal para a alfabetização. *Letras de Hoje*, 45(3), 43-47. Retirado de http://doaj.org/search?source={%22query%22:{%22filtered%22:{%22query%22:{%22match_all%22:{%22}},%22filter%22:

{%22bool%22:{%22must%22:[{%22term%22:{%22id%22:%227865562500654f43b0da29a30130d96e%22}}}}}}#.#.VBBnU_IdWSo

- Simões, M. (2000). *Investigações no âmbito da aferição nacional do Teste das Matrizes Progressivas Coloridas de Raven (MPCR)*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Sucena, A. S., Castro, S. L. (2010). *Aprender a Ler e Avaliar a Leitura - O TIL: Teste de Idade de Leitura*. Portugal: Almedina.
- Sucena, A., & Castro, S. L. (2012). *ALEPE - Avaliação da Leitura em Português Europeu*. Lisboa: CEGOC.
- Szwed, M., Ventura, P., Querido, L., Cohen, L., & Dehaene, S. (2012). Reading acquisition enhances an early visual process of contour integration. *Developmental Science*, 15(1), 139-149. doi: 10.1111/j.1467-7687.2011.01102.x.
- Tarr, M. J. (1998). *Visual Object Recognition: Can A Single Mechanism Suffice?* In M. A. Peterson & G. Rhodes (Eds.), *Perception of Faces, Objects, and Scenes: Analytic and Holistic Processes*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Tawney, J. W. (1972). Training letter discrimination in four year old children. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 5(4), 455-465. doi: 10.1901/jaba.1972.5-455
- Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the Relations Between Seen Objects and Components of Potential Actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 830-846.
- Turnbull, O. H., Beschin, N., & Sala, S. D. (1997). Agnosia for object orientation: Implications for theories of object recognition. *Neuropsychologia*, 35(2), 153-163.
- Valyear, K. F., Culham, J. C., Sharif, N., Westwood, D., Goodale, M. A. (2006). A double dissociation between sensitivity to changes in object identity and object recognition in the ventral and dorsal visual streams: A human fMRI study. *Neuropsychologia*, 44, 218-228.
- Ventura, P., Fernandes, T., Cohen, L., Morais, J., Kolinsky, R., & Dehaene, S. (2013). Literacy acquisition reduces the influence of automatic holistic processing of faces and houses. *Neuroscience Letters*, 25(554), 105-109. doi: 10.1016/j.neulet.2013.08.068.
- Verhaeghe, A., & Kolinsky, R. (2006). *O que os iletrados nos ensinam sobre os testes de inteligência*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

- Vinckier, F., Naccache, L., Papeix, C., Forget, J., Hahn-Barma, V., Dehaene, S., & Cohen, L. (2006). “What” and “Where” in Word Reading: Ventral Coding of Written Words Revealed by Parietal Atrophy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(12), 1998-2012. doi:10.1162/jocn.2006.18.12.1998
- Vogel, A. C., Miezin, F. M., Petersen, S. E., & Schlaggar, B. L. (2011). The Putative Visual Word Form Area Is Functionally Connected to the Dorsal Attention Network. *Cerebral Cortex*, 22(3), 537-49. doi: 10.1093/cercor/bhr100.
- Vogel, A. C., Petersen, S. E., & Schlaggar, B. L. (2014). The VWFA: it’s not just for words anymore. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(88). doi: 10.3389/fnhum.2014.00088
- Wechsler, D. (1991). *WISC-III: Escala de Inteligência de Wechsler para Crianças - 3ª Edição*. (adaptação portuguesa de Simões, Rocha, & Ferreira, 2009). Lisboa: CEGOC.
- Wechsler, D. (1997). *The Wechsler memory scale – third edition*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Weiss, M. M., Wolbers, T., Peller, M., Witt, K., Marshall, L., Buchel, C., & Siebner, H. R. (2009). Rotated alphanumeric characters do not automatically activate frontoparietal areas subserving mental rotation. *NeuroImage*, 44(3), 1063-1073. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.09.042.
- World Medical Association (2013). *World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects*. Retirado de <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/>